



UNIVERSITE D'ANTANANARIVO

FACULTE DES SCIENCES



FORMATION DOCTORALE EN SCIENCES DE LA VIE

DEPARTEMENT D'ENTOMOLOGIE

THESE POUR

L'OBTENTION DU DIPLOME DE DOCTORAT EN SCIENCES DE LA VIE

SPECIALITE : ENTOMOLOGIE

**SYSTEMATIQUE DES VERS BLANCS (COLEOPTERA, SCARABEOIDEA) EN RIZICULTURE
PLUVIALE DES REGIONS DE HAUTE ET MOYENNE ALTITUDES DU CENTRE ET DU CENTRE-
OUEST DE MADAGASCAR. BIOECOLOGIE DU RAVAGEUR *HETERONYCHUS ARATOR*
RUGIFRONS (Fairmaire, 1871- COLEOPTERA, SCARABEOIDEA , DYNASTIDAE)**

PRESENTEE PAR

RANDRIAMANANTSOA Richard

DEVANT LE JURY D'EXAMEN COMPOSE DE :

M.	JEANNODA Victor	PRESIDENT DE JURY
	Professeur titulaire	
Mme	RALISOA Bakoly Olga	DIRECTEUR DE THESE
	Professeur titulaire	
M.	RAZAFINDRASATA Fidimanana	RAPPORTEUR INTERNE
	Professeur titulaire	
M.	RATNADASS Alain	RAPPORTEUR EXTERNE
	Docteur HDR	
M.	VERCAMBRE Bernard	EXAMINATEUR
	Docteur-Spécialiste des vers blancs	

DATE : 29 NOVEMBRE 2010

REMERCIEMENTS

Ce travail n'a pas pu être accompli sans l'aide de tout un chacun. Aussi, je remercie vivement les institutions et les personnes qui m'ont aidé :

- Le Conseil régional de l'Île de la Réunion, pour sa participation au financement de notre travail à travers la Convention MCR/2003/1155 signée entre Madagascar et la Réunion ;
- Le Département d'Entomologie de la Faculté des Sciences de l'Université d'Antananarivo pour avoir accepté ma candidature pour réaliser ce travail ;
- La Direction et le personnel du Centre national de Recherches appliquées au Développement rural (FOFiFA), pour m'avoir donné l'opportunité d'accomplir ce travail ;
- Le CIRAD, à travers la Délégation aux Echanges scientifiques internationaux (DESI), pour l'accueil, l'organisation et le financement de mes séjours à Montpellier en 2004, 2005 et 2007 ;
- Le Centre de Biologie pour la Gestion des Populations (CBGP) à Montpellier et le Pôle Protection des Plantes (3P) à Saint Pierre, Réunion, qui m'ont accueilli dans leurs locaux ;
- M. J. BOYER initiateur du projet de Coopération entre l'Île de la Réunion et Madagascar, financé par le Conseil régional de l'Île de la Réunion, et qui nous a permis d'effectuer certains travaux de cette thèse.
- MM. G. DELVARE et J.Y. RASPLUS, du CBGP, B. REYNAUD du Pôle 3P pour m'avoir accueilli dans leur laboratoire ;
- Mme L. OLLIVIER, du Cirad, pour la mise à notre disposition du matériel photo Leica ;
- MM. L. SOLDATI, P. RENAUD, J.C. STREITO, J.-F. GERMAIN, M. MARTINEZ, J.-M. RAMEL, E. PIERRE, V. BALMES et C. COCQUEMPOT du Laboratoire national de la Protection des Végétaux (LNPV) et de l'INRA à Montpellier pour leur accueil, leur collaboration et la mise à notre disposition du matériel photo ;
- MM. M. LACROIX, P. ANTOINE et J.-B. HUCHET, pour la détermination de certaines espèces et pour la documentation communiquée ;
- M. R.-P. DECHAMBRE, pour le prêt de spécimens de Dynastidae du MNHN ;
- M. B. C. RATCLIFFE, pour les informations et les publications qu'il nous a transmises ;

- M. J.-P. LUMARET, de l'Université Paul-Valéry à Montpellier, pour ses conseils et pour la documentation qu'il nous a procurée ;
- M. M. JULIEN, Directeur du CSIRO à Montpellier, pour la révision du texte anglais ;
- Mme M. DUPORTAL, pour la réalisation de la carte des différentes localités prospectées;
- Mme M. BAPTISTE, documentaliste du Pôle Protection des Plantes, pour son aide dans la recherche des documents ;

Je tiens à exprimer ma reconnaissance à:

- Mme OLGA BAKOLY RALISOA, Professeur titulaire, pour m'avoir bien dirigé dans la réalisation de ce travail ;
- M. VICTOR JEANNODA, Professeur titulaire et Responsable de la formation doctorale en Sciences de la Vie, pour avoir accepté d'être le Président de jury ;
- M. FIDIMANANA RAZAFINDRASATA, Professeur titulaire et Responsable d'option doctorale en Entomologie, pour avoir accepté d'être rapporteur de ce travail ;
- Mme M. FOUILLAUD, MM A. RATNADASS ; B. VERCAMBRE et F. CHIROLEU d'avoir accepté d'être les membres de mon comité de thèse et corrigé le manuscrit. Je tiens à leur adresser mes vifs remerciements pour leur encadrement technique et scientifique ainsi que leurs précieux conseils, qui m'ont permis de réaliser ce travail malgré les difficultés rencontrées ;
- MM. F. CHIROLEU et J. VESLOT, Biostatisticiens, pour m'avoir aidé dans les analyses des résultats ;
- M. H.-P. ABERLENC, Entomologiste, taxonomiste, pour son aide dans la réalisation des photos, la détermination des espèces ; pour ses précieux conseils et sa disponibilité pour m'assister et m'encadrer lors des travaux de laboratoire.

J'exprime ma gratitude à :

- M. A. RAKOTONDRAZAKA et l'équipe de l'Unité de Recherches en Partenariat-Système de Culture et Riziculture Durable (URP-SCRID), plus particulièrement MM. T.E RAJAONERA & E. RAFAMATANANTSOA, pour leur aide sur le terrain ;
- Ma famille qui durant ces longues années m'a toujours épaulé et encouragé dans la réalisation de ce travail.
- A tous ceux qui de près ou de loin m'ont encouragé, supporté et aidé.

ABBREVIATIONS

CBGP : Centre de Biologie pour la Gestion des Populations

CIRAD : Centre de coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le
Développement

CSIRO : Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation

Cv : Cultivar

DESI : Délégation aux Echanges Scientifiques Internationaux (CIRAD)

FOFIFA : Foibem-pirenena momba ny Fikarohana ampiharina amin'ny Fampandrosoana ny
eny Ambanivohitra

h : Hauteur

INRA : Institut National de la Recherche Agronomique

l : Largeur

L : Longueur

LNPV : Laboratoire National de la Protection des Végétaux

MNHN : Muséum National d'Histoire Naturelle de Paris

SCRID : Système de culture et riziculture durable

SCV : Système de culture sur couverture végétale

UFR: Unité de Formation et de Recherches

UMR: Unité Mixte de Recherches

URP : Unité de Recherches en Partenariat

LISTE DES FIGURES ET TABLEAUX

1 - FIGURES

Figure 1 : Les différentes variétés de riz pluvial adaptées pour chaque région écologique	5
Figure 2 : Région du Vakinankaratra	7
Figure 3a : Cycle général des <i>Heteronychus</i> spp (Dynastidae) et du riz pluvial	12
Figure 3b : Cycle de développement d' <i>Hoplochelus marginalis</i> (Melolonthidae)	12
Figure 4 : <i>CAB International</i> , Distribution Maps of Plant Pests, 1963, June, Map 163	17
Figure 5 : Les 22 régions de Madagascar	21
Figure 6 : Les 4 régions prospectées de la province d'Antananarivo	21
Figure 7 : Les localités de collecte de larves	22
Figure 8 : Boîte d'élevage des larves et nymphes	28
Figure 9 : Schéma d'un épipharynx de Scarabaeoidea	29
Figure 10 : Schéma d'un raster et de la fente anale d'un Scarabaeoidea	29
Figure 11 et 12 : Dispositif pour la prise des photos	30
Figure 13 : Dispositif dans le terrarium	32
Figure 14 : Dispositif de piégeage lumineux	35
Figure 15 : Habitus de la larve de <i>Bricoptis variolosa</i>	40
Figure 16 : Labre de la larve de <i>Bricoptis variolosa</i>	40
Figure 17 : Epipharynx de la larve de <i>Bricoptis variolosa</i>	41
Figure 18 : Raster de la larve de <i>Bricoptis variolosa</i>	42
Figure 19 : Habitus de la nymphe de <i>Bricoptis variolosa</i>	42
Figure 20 : Habitus de la larve de <i>Celidota parvula</i>	43
Figure 21 : Labre de la larve de <i>Celidota parvula</i>	44
Figure 22 : Epipharynx de la larve de <i>Celidota parvula</i>	44
Figure 23 : Raster de la larve de <i>Celidota parvula</i>	45
Figure 24 : Habitus de la larve d' <i>Anochilia bifida</i>	46
Figure 25 : Labre de la larve d' <i>Anochilia bifida</i>	46
Figure 26 : Epipharynx de la larve d' <i>Anochilia bifida</i>	47
Figure 27: Raster de la larve d' <i>Anochilia bifida</i>	48
Figure 28: Habitus de la larve d' <i>Euryomia argentea</i>	48

Figure 29 : Labre de la larve d' <i>Euryomia argentea</i>	49
Figure 30 : Epipharynx de la larve d' <i>Euryomia argentea</i>	50
Figure 31 : Raster de la larve d' <i>Euryomia argentea</i>	50
Figure 32 : Habitus de la nymphe d' <i>Euryomia argentea</i>	51
Figure 33 : Habitus de la larve d' <i>Heteronychus bituberculatus</i>	52
Figure 34 : Labre de la larve d' <i>Heteronychus bituberculatus</i>	52
Figure 35 : Epipharynx de la larve d' <i>Heteronychus bituberculatus</i>	53
Figure 36 : Raster de la larve d' <i>Heteronychus bituberculatus</i>	53
Figure 37 : Habitus de la larve d' <i>Heteronychus plebeius</i>	54
Figure 38 : Labre de la larve d' <i>Heteronychus plebeius</i>	54
Figure 39 : Epipharynx de la larve d' <i>Heteronychus plebeius</i>	55
Figure 40 : Raster de la larve d' <i>Heteronychus plebeius</i>	55
Figure 41 : Habitus de la nymphe d' <i>Heteronychus plebeius</i>	56
Figure 42 : Habitus de la larve d' <i>Hexodon unicolor unicolor</i>	57
Figure 43 : Labre de la larve d' <i>Hexodon unicolor unicolor</i>	57
Figure 44 : Epipharynx de la larve d' <i>Hexodon unicolor unicolor</i>	58
Figure 45 : Raster de la larve d' <i>Hexodon unicolor unicolor</i>	58
Figure 46 : Habitus de la nymphe d' <i>Hexodon unicolor unicolor</i>	59
Figure 47 : Habitus de la larve d' <i>Heteroconus paradoxus</i>	60
Figure 48 : Labre de la larve d' <i>Heteroconus paradoxus</i>	60
Figure 49 : Epipharynx de la larve d' <i>Heteroconus paradoxus</i>	61
Figure 50 : Raster de la larve d' <i>Heteroconus paradoxus</i>	61
Figure 51 : Habitus de la nymphe d' <i>Heteroconus paradoxus</i>	62
Figure 52 : Habitus de la larve de <i>Paranodon coquerelii</i>	63
Figure 53 : Labre de la larve de <i>Paranodon coquerelii</i>	63
Figure 54 : Epipharynx de la larve de <i>Paranodon coquerelii</i>	64
Figure 55 : Raster de la larve de <i>Paranodon coquerelii</i>	64
Figure 56 : Habitus de la nymphe de <i>Paranodon coquerelii</i>	65
Figure 57 : Habitus de la larve de <i>Paramorphochelus cornutus</i>	66
Figure 58 : Labre de la larve de <i>Paramorphochelus cornutus</i>	67
Figure 59 : Epipharynx de la larve de <i>Paramorphochelus cornutus</i>	67
Figure 60 : Raster de la larve de <i>Paramorphochelus cornutus</i>	68
Figure 61 : Habitus de la nymphe de <i>Paramorphochelus cornutus</i>	69

Figure 62 : Habitus de la larve d' <i>Encya sikorai</i>	70
Figure 63 : Labre de la larve d' <i>Encya sikorai</i>	70
Figure 64 : Epipharynx de la larve d' <i>Encya sikorai</i>	71
Figure 65 : Raster de la larve d' <i>Encya sikorai</i>	71
Figure 66 : Habitus de la nymphe d' <i>Encya sikorai</i>	72
Figure 67 : Habitus de la larve d' <i>Enaria melanictera</i>	73
Figure 68 : Labre de la larve d' <i>Enaria melanictera</i>	73
Figure 69 : Epipharynx de la larve d' <i>Enaria melanictera</i>	74
Figure 70 : Raster de la larve d' <i>Enaria melanictera</i>	74
Figure 71 : Habitus de la larve d' <i>Apicencya waterloti</i>	75
Figure 72 : Labre de la larve d' <i>Apicencya waterloti</i>	76
Figure 73 : Epipharynx de la larve d' <i>Apicencya waterloti</i>	76
Figure 74 : Raster de la larve d' <i>Apicencya waterloti</i>	77
Figure 75 : Habitus de la nymphe d' <i>Apicencya waterloti</i>	78
Figure 76 : Habitus de la larve d' <i>Empecta scutata</i>	79
Figure 77 : Labre de la larve d' <i>Empecta scutata</i>	79
Figure 78 : Epipharynx de la larve d' <i>Empecta scutata</i>	80
Figure 79 : Raster de la larve d' <i>Empecta scutata</i>	80
Figure 80 : Habitus de la larve d' <i>Hoplochelus betanimena</i>	81
Figure 81 : Labre de la larve d' <i>Hoplochelus betanimena</i>	82
Figure 82 : Epipharynx de la larve d' <i>Hoplochelus betanimena</i>	82
Figure 83 : Raster de la larve d' <i>Hoplochelus betanimena</i>	83
Figure 84 : Habitus de la nymphe d' <i>Hoplochelus betanimena</i>	83
Figure 85 : Habitus de la larve de <i>Triodontus nitidulus</i>	84
Figure 86 : Labre de la larve de <i>Triodontus nitidulus</i>	84
Figure 87 : Epipharynx de la larve de <i>Triodontus nitidulus</i>	85
Figure 88 : Raster de la larve de <i>Triodontus nitidulus</i>	85
Figure 89 : Déplacements de la larve d' <i>Apicencya waterloti</i>	87
Figure 90 : Déplacements de la larve de <i>Bricoptis variolosa</i>	88
Figure 91 : Pourcentage d'attaque sur plant de riz selon les espèces de larves	89
Figure 92 : Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d' <i>Heteroconus paradoxus</i> en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique	90

Figure 93 : Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique	91
Figure 94 : Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d' <i>Heteronychus plebeius</i> en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique	91
Figure 95 : Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d' <i>Heteronychus bituberculatus</i> en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique	92
Figure 96 : Densité moyenne des larves par m ² des autres espèces de vers blancs selon les niveaux de la toposéquence	93
Figure 97 : Densité moyenne des larves par m ² des autres espèces de vers blancs selon les niveaux	94
Figure 98 : Nombre cumulé des adultes des 3 espèces d' <i>Heteronychus</i> (<i>H. bituberculatus</i> ; <i>H. arator rugifrons</i> ; <i>H. plebeius</i>) capturés selon les orientations du compartiment du piège	97
Figure 99 : Nombre cumulé des adultes des autres espèces de vers blancs capturés selon les orientations des compartiments du piège	98
Figure 100 : Evolution du nombre d' <i>Heteronychus bituberculatus</i> et d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	99
Figure 101 : Evolution du nombre de <i>Paramorphochelus cornutus</i>	99
Figure 102 : Plants de riz dilacérés par les adultes	107
Figure 103 : Jeunes plants de riz	107
Figure 104 : Cuvette avec des adultes	107
Figure 105 : Etuve réfrigérée	108
Figure 106 : Boîte d'élevage	108
Figure 107 : Balance de précision	109
Figure 108 : Habitus de l'adulte d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	110
Figure 109 : Tête d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	111
Figure 110 : Edéage d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	111
Figure 111 : Œufs à l'oviposition d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	112
Figure 112 : Habitus de la d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	112
Figure 113 : Tête d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	113
Figure 114 : Antenne d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	113
Figure 115 : Labre d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	114
Figure 116 : Epipharynx d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	115

Figure 117 : Mandibule gauche d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	115
Figure 118 : Mandibule droite d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	116
Figure 119 : Aire stridulatoire mandibulaire (face ventrale)	116
Figure 120 : Maxille (face dorsale) d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	117
Figure 121 : Aire stridulatoire maxillaire d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	117
Figure 122 : Hypopharynx d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	118
Figure 123 : Patte de la larve d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	118
Figure 124 : Raster d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	119
Figure 125 : Nymphe d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	120
Figure 126 : Problème de sortie de l'exuvie d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	124
Figure 127 : Malformation de l'imaginaire d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	124
Figure 128 : Œuf d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	125
Figure 129 : Evolution du poids et de la taille moyens des œufs d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> de la ponte à l'éclosion	126
Figure 130 : Evolution du poids moyen des larves de stade L1	127
Figure 131 : Evolution du poids moyen des larves de stade L2	128
Figure 132 : Evolution du poids moyen des larves de stade L3	129
Figure 133 : Evolution du poids moyen de la nymphe	130
Figure 134 : Evolution du poids moyen des nymphes mâles	131
Figure 135 : Evolution du poids moyen des nymphes femelles	131
Figure 136 : Evolution du nombre des œufs pondus au laboratoire de Février à Septembre 2007	133
Figure 137 : Densité moyenne/m ² des adultes d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> selon les niveaux de la toposéquence	135
Figure 138 : Densité moyenne des larves par m ² d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> selon les niveaux de la toposéquence	136
Figure 139 : Composition des stades larvaires d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> dans les prélèvements du mois de Juin	137
Figure 140 : Dispositif au champ	144
Figure 141 : Disposition des mailles de prélèvement	144
Figure 142 : Maillage d'un carré	145
Figure 143 : Matériel de prélèvement	146
Figure 144 : Triage de la terre	146
Figure 145 : Maillage d'un carré	146

Figure 146: Evolution temporelle de la population à Andranomanelatra 2005	148
Figure 147 : Evolution des œufs dans les différentes profondeurs	149
Figure 148 : Evolution de la population larvaire dans les différentes profondeurs	150
Figure 149 : Evolution des nymphes dans les différentes profondeurs	151
Figure 150 : Evolution des adultes dans les différentes profondeurs	152

2- TABLEAUX

Tableau 1 : Les espèces de vers blancs malgaches ravageurs des cultures et leurs plantes hôtes	10
Tableau 2 : Régions et localités prospectées en 2003 et 2005	23
Tableau 3 : Caractéristiques géographiques et pédologiques des sites d'étude	26
Tableau 4 : Pluviométrie et température moyenne annuelle enregistrée dans les 2 sites de travail	26
Tableau 5 : Moment de repiquage des plants de riz et d'infestation	32
Tableau 6 : Caractéristiques des milieux correspondant aux différentes orientations du compartiment du piège	34
Tableau 7 : Caractéristiques des différents niveaux de la toposéquence du prélèvement de Février	36
Tableau 8 : Caractéristiques des différents niveaux de la toposéquence du prélèvement de Juin	36
Tableau 9 : Les espèces de « Vers blancs » collectées en riziculture pluviale des régions de hautes et moyennes altitudes du Centre de Madagascar	39
Tableau 10 : Pourcentage d'attaque selon les espèces et le statut en matière organique du sol	92.
Tableau 11 : Activité de vol des adultes de Scarabées	95
Tableau 12 : Température ambiante moyenne enregistrée en 2007 au laboratoire	107
Tableau 13 : Durée de développement et taux de survie des stades pré-imaginaux d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> à 18°C	120
Tableau 14 : Durée de développement et taux de survie des stades pré-imaginaux d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> à 25°C	121
Tableau 15 : Durée de développement des stades préimaginaux des mâles d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> à 18°C	122
Tableau 16 : Durée de développement des stades préimaginaux	

des femelles d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> à 18°C	122
Tableau 17 : Durée de développement des stades pré-imaginaux des mâles d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> à 25°C	123
Tableau 18 : Durée de développement des stades pré-imaginaux des femelles d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i> à 25°C	123
Tableau 19 : Taille des différents stades larvaires	126
Tableau 20 : Largeur des capsules céphaliques des larves d' <i>Heteronychus arator rugifrons</i>	129

SOMMAIRE

INTRODUCTION GENERALE	1
ETAT DES CONNAISSANCES	3
A) LE RIZ	3
A.1) IMPORTANCE DU RIZ PLUVIAL À MADAGASCAR	4
A.2) LE RIZ PLUVIAL DANS LA REGION DU VAKINANKARATRA	6
B) LES VERS BLANCS OU « WHITE GRUBS »	7
B.1) DANS LE MONDE	7
B.1.1) LES PRINCIPALES FAMILLES DE VERS BLANCS	7
B.1.2) BIOECOLOGIE	8
B.1.3) IMPORTANCE ECONOMIQUE	8
B.2) A MADAGASCAR	9
B.2.1) LES FAMILLES D'IMPORTANCE AGRONOMIQUE	9
B.2.2) BIOLOGIE ET ECOLOGIE	10
<i>B.2.2.1) Les plantes hôtes</i>	10
<i>B.2.2.2) Attaque sur les cultures</i>	11
<i>B.2.2.3) Cycles biologiques</i>	11
<i>B.2.2.4) Développement et comportement des larves</i>	13
<i>B.2.2.5) Emergence des adultes, accouplement et dispersion</i>	13
B.2.3) METHODES ET STRATEGIES DE LUTTE CONTRE LES VERS BLANCS	13
<i>B.2.3.1) Lutte chimique</i>	13
<i>B.2.3.2) Lutte agronomique</i>	14
<i>B.2.3.3) Lutte biologique</i>	15
<i>B.2.3.4) Ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes)</i>	15
<i>B.2.3.5) Autres méthodes de lutte</i>	16
B.3) DONNEES SUR LES ESPECES D' <i>HETERONYCHUS</i>	16
B.3.1) REPARTITION GEOGRAPHIQUE	17

B.3.2) BIOLOGIE	17
B.3.3) LES PLANTES HOTES	18
B.3.4) DEGATS	18
C) OBJECTIFS DE L'ETUDE DES VERS BLANCS	19
PREMIERE PARTIE :	
SYSTEMATIQUE ET BIO-ECOLOGIE DES VERS BLANCS	
AUTRES QUE <i>HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS</i>	20
A) SITES D'ETUDE	21
A.1) SITES DE PROSPECTION	21
A.1.1) LA REGION DU VAKINANKARATRA	23
<i>A.1.1.1) Localisation géographique</i>	23
<i>A.1.1.2) Les sols</i>	23
<i>A.1.1.3) Le climat</i>	24
<i>A.1.1.4) Les cultures</i>	24
A.2) LES SITES DE TRAVAIL : ANDRANOMANELATRA ET IVORY	25
A.2.1) LE SOL	25
A.2.2) LE CLIMAT	25
B) ETUDE SYSTEMATIQUE DES LARVES	26
B.1) METHODOLOGIE	26
B.1.1) ELEVAGES	27
<i>B.1.1.1) Les larves</i>	27
<i>B.1.1.2) Les nymphes et les imagos</i>	27
<i>B.1.1.3) Observations et contrôle</i>	28
B.1.2) DIFFERENCIATION ET DIAGNOSE DES LARVES	28
<i>B.1.2.1) Préparation des échantillons</i>	30
<i>B.1.2.2) Photo</i>	30
B.1.3) BIO ECOLOGIE DES VERS BLANCS	31
<i>B.1.3.1) Etude de la préférence alimentaire de trois espèces</i>	
<i>de vers blancs : Apicencya waterloti (Melolonthidae) ; Bricoptis variolosa</i>	
<i>(Cetoniidae) et d'Heterocomus paradoxus (Dynastidae)</i>	31

<i>B.1.3.2) Conduite de l'étude</i>	31
<i>B.1.3.3) Contrôle et observations</i>	33
<i>B.1.3.4) Etude de la plasticité trophique de cinq espèces de vers blancs</i>	33
<i>B.1.3.5) Activité de vol</i>	34
<i>B.1.3.6) Biotope des vers blancs</i>	35
 B.2) RESULTATS	36
B.2.1) LIENS ENTRE LARVE-NYPHE ET IMAGO - IDENTIFICATION DES ESPECES	36
<i>B.2.1.1) Caractérisation des larves collectées</i>	36
<i>B.2.1.2) Identification des larves collectées</i>	37
 B.2.2) DIAGNOSE DES LARVES	39
<i>B.2.2.1) Bricoptis variolosa</i>	39
<i>B.2.2.2) Celidota parvula</i>	43
<i>B.2.2.3) Anochilia bifida</i>	45
<i>B.2.2.4) Euryomia argentea</i>	48
<i>B.2.2.5) Heteronychus bituberculatus</i>	51
<i>B.2.2.6) Heteronychus plebeius</i>	53
<i>B.2.2.7) Hexodon unicolor unicolor</i>	56
<i>B.2.2.8) Heteroconus paradoxus</i>	59
<i>B.2.2.9) Paranodon coquerelii</i>	62
<i>B.2.2.10) Paramorphochelus cornutus</i>	65
<i>B.2.2.11) Encya sikorai</i>	69
<i>B.2.2.12) Enaria melanictera</i>	72
<i>B.2.2.13) Apicencya waterloti</i>	75
<i>B.2.2.14) Empecta scutata</i>	78
<i>B.2.2.15) Hoplochelus betanimena</i>	81
<i>B.2.2.16) Triodontus nitidulus</i>	84
 B.2.3) COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DE QUELQUES VERS BLANCS	
AUTRES QUE <i>HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS</i>	86
<i>B.2.3.1) Préférence alimentaire de trois espèces de vers blancs :</i>	
<i>Apicencya waterloti (Melolonthidae) ; Bricoptis variolosa (Cetoniidae</i>	
<i>et d'Heteroconus paradoxus (Dynastidae)</i>	86

a) <i>Cas d'Apicencya waterloti</i>	86
b) <i>Cas de Bricoptis variolosa</i>	88
B.2.3.2) <i>Plasticité trophique de 5 espèces de vers blancs :</i>	
<i>Heteronychus arator rugifrons, H. plebeius, H. bituberculatus,</i>	
<i>Hexodon unicolor unicolor et Bricoptis variolosa</i>	90
a) <i>Cas de Heteroconus paradoxus</i>	90
b) <i>Cas de Heteronychus arator rugifrons</i>	90
c) <i>Cas de Heteronychus plebeius et Heteronychus</i>	
<i>bituberculatus</i>	91
B.2.4) BIOTOPE	93
B.2.4.1) <i>Densité des larves au mois de février selon les niveaux de</i>	
<i>toposéquence</i>	93
B.2.4.2) <i>Densité des larves au mois de juin selon les niveaux</i>	
<i>de toposéquence</i>	94
B.2.5) ACTIVITE DE VOL	94
B.2.5.1) <i>Cas des trois espèces d'Heteronychus (H. arator rugifrons, H.</i>	
<i>bituberculatus et H. plebeius)</i>	95
B.2.5.2) <i>Cas des autres espèces de vers blancs</i>	96
B.2.5.3) <i>Influence de la pluviométrie</i>	97
C) DISCUSSION ET CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE	99
C.1) SYSTEMATIQUE	99
C.2) COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DE QUELQUES ESPECES	
DE VERS BLANCS-STATUT AGRONOMIQUE	100
C.3) BIOTOPE DES AUTRES ESPECES DE VERS BLANCS	102
DEUXIEME PARTIE :	
DIAGNOSE DES DIFFERENTS STADES ET BIOLOGIE	
D'HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS (FAIRMAIRE, 1871)	104

I) METHODOLOGIE	105
I.A) DIAGNOSE DES DIFFERENTS STADES	105
I.B) BIOLOGIE	105
I.B.1) L'IMAGO	105
<i>I.B.1.1) Matériel animal</i>	105
<i>I.B.1.2) Conduite de l'élevage</i>	105
<i>I.B.1.3) Contrôle et observations</i>	107
I.B.2) L'ŒUF	108
I.B.3) LES LARVES	108
I.B.4) LA NYMPHE	109
II) RESULTATS	110
II.A) DIAGNOSE	110
II.A.1) L'IMAGO	110
II.A.2) L'ŒUF	111
II.A.3) LA LARVE	112
II.A.4) LA NYMPHE	119
II.B) BIOLOGIE	120
II.B.1) DUREE DE DEVELOPPEMENT	120
<i>II.B.1.1) Selon la température</i>	120
- à 18°C	120
- à 25°C	121
<i>II.B.1.2) Selon la température et le sexe</i>	122
- à 18°C	122
- à 25°C	123
<i>II.B.1.3) Mortalité des larves et des nymphes</i>	124
<i>II.B.1.4) Cycle de développement</i>	125
<i>II.B.1.5) Les différents stades de développement</i>	125
a) L'œuf	125
- Taille et poids des œufs	125

<i>b) Les larves</i>	126
- <i>Croissance en taille</i>	126
- <i>Evolution pondérale</i>	127
- <i>Croissance des capsules céphaliques</i>	129
<i>c) Les nymphes</i>	130
<i>d) L'imago</i>	131
- <i>Développement ovarien et période de pontes</i>	131
- <i>Accouplement, oviposition et fécondité des femelles</i>	132
- <i>Longévité</i>	133
II.C) BIOTOPE	134
II.C.1) ABONDANCE DES ADULTES SELON LES NIVEAUX DE TOPOSEQUENCE	134
II.C.2) ABONDANCE DES LARVES SELON LES NIVEAUX DE TOPOSEQUENCE	135
II.D) DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME PARTIE	137
II. D. 1) DUREE DE DEVELOPPEMENT DES STADES PREIMAGIAUX	137
II.D.2) DEVELOPPEMENT OVARIEN	138
II.D.3) OVIPOSITION ET FECONDITE DES FEMELLES	138
II.D.4) LONGEVITE ET ACTIVITE DE VOLS DES IMAGOS	139
II.D.5) BIOTOPE D' <i>HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS</i>	140
III- TROISIEME PARTIE :	
ETUDE DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA POPULATION	
D'<i>HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS</i> AU CHAMP (DE JANVIER A DECEMBRE 2005)	142
III.A) METHODOLOGIE	143
III. A. 1) CONDUITE DE LA CULTURE DU RIZ PLUVIAL	143
III. A. 2) DISPOSITIF EXPERIMENTAL : METHODES ET FREQUENCE DES PRELEVEMENTS	143
III. A. 3) OBSERVATIONS	147
III.B) RESULTATS	147
III.B.1) EVOLUTION TEMPORELLE DES POPULATIONS	
D' <i>HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS</i> SELON LES STADES DE DEVELOPPEMENT	147

<i>III.B.1.1) Les adultes</i>	147
<i>III.B.1.2) Les œufs</i>	148
<i>III.B.1.3) Les larves</i>	148
<i>III.B.1.4) Les nymphes</i>	149
 III.B.2) EVOLUTION TEMPORELLE DE LA POPULATION D’ <i>H. ARATOR RUGIFRONS</i>	
SELON LES PROFONDEURS	149
<i>III.B.2.1) Les œufs</i>	149
<i>III.B.2.2) Les larves</i>	150
<i>III.B.2.3) Les nymphes</i>	151
<i>III.B.2.4) Les imagos</i>	151
III.B.3) DISCUSSIONS	152
 CONCLUSIONS GENERALES	154
PERSPECTIVES	158
BIBLIOGRAPHIE	160
ANNEXES	166

INTRODUCTION GENERALE

Dans les pays tropicaux humides, du fait d'une pression démographique croissante et d'une demande de production agricole accrue, la surexploitation des milieux entraîne une dégradation importante des sols soumis à des degrés de stress chimique, physique et biologique de plus en plus importants (Greenland & Szaboles, 1994). Dans ces pays les pratiques agricoles traditionnelles deviennent destructrices, tel le labour le long des pentes des collines accentuant le phénomène d'érosion et entraînant l'ensablement des cultures en bas fonds. L'action des insectes ravageurs des cultures occupe une place importante dans la réduction de la production agricole. Ces attaques peuvent être directes : - par attaque de certaines parties de la plante : feuille, tige, racines, fruits et graines entraînant sa destruction partielle ou complète ou – indirectes par la transmission des maladies et virus (cas des pucerons). Les criquets constituent des ravageurs majeurs dans de nombreuses régions du monde (Lecoq, 2005). *Locusta migratoria capito* (Saussure, 1884) est le premier ravageur de l'agriculture malgache (Franc, 2005) dont les aires de pullulation s'étendent progressivement à cause des feux de brousse. A Madagascar, les insectes terricoles phytophages constituent également un fléau pour la riziculture pluviale. A cet égard, plusieurs méthodes de protection ont été expérimentées (Randriamanantsoa & Ratnadass, 2005 ; Ratnadass et al, 2008).

Le système de culture sur couverture végétale morte ou vive offre une potentialité dans ce domaine. Outre ses effets bénéfiques en termes agronomiques : protection du sol contre l'érosion, accroissement du taux de matière organique du sol et fourniture de nutriments aux plantes, il permet d'accroître la diversité floristique et faunistique et de créer un nouvel environnement favorable au développement de l'activité biologique. Le système racinaire des plantes des couvertures joue le rôle de leurre à l'égard des insectes terricoles phytophages et la couverture sert de lieu de refuge pour les parasitoïdes.

Etant donné l'impossibilité d'étendre indéfiniment la riziculture aquatique d'une part, la demande de plus en plus élevée en riz, aliment de base à Madagascar, d'autre part, nous avons orienté notre recherche sur la riziculture pluviale. Cependant, celle-ci est attaquée tragiquement par les « Vers blancs », larves d'insectes Coléoptères.

ETAT DES CONNAISSANCES

A) LE RIZ

C'est la céréale la plus cultivée dans le monde et il constitue l'aliment de base de plus de la moitié de l'humanité. Il est cultivé dans des conditions écologiques très variées allant du pluvial strict, dépendant de la pluie ou de la nappe phréatique, aux conditions inondées en passant par les conditions à bonne ou mauvaise maîtrise d'eau. Du fait des situations de pénuries actuelles et compte tenu de l'accroissement démographique, les besoins sont estimés à plus de 750 millions de tonnes à l'horizon des années 2020, soit une augmentation de 50% de la production actuelle.

En dehors de l'Asie, Madagascar est l'une des plus anciennes régions de riziculture où la culture du riz présente un caractère à la fois économique, social et politique. Il constitue le principal aliment de base des Malgaches. La culture du riz s'observe dans tous les districts du pays.

Cependant, sa culture est entravée par des problèmes de production et de commercialisation telles que des conditions climatiques défavorables (dépressions ou cyclones tropicaux et amplitude de variation des pluies), l'enclavement de certaines zones de production, un prix au producteur peu incitatif, l'état défaillant des réseaux d'irrigation, une mauvaise maîtrise de l'eau, un faible taux d'équipement, une faible utilisation d'intrants, une faible application d'itinéraires techniques améliorés, des coûts élevés de main d'œuvre, la rareté et cherté du crédit et l'insécurité foncière. A ceci s'ajoute la pression parasitaire des maladies et insectes, adventices, nématodes, rats. Les ravageurs peuvent attaquer la culture depuis le semis jusqu'au stockage (Heinrichs & Barrion, 2004).

Trois grands modes de culture de riz peuvent se pratiquer à Madagascar:

- La riziculture sur *tavy* qui est une culture de riz pluvial sur défriche-brûlis de forêt dense humide naturelle. Son effet sur l'environnement a toujours été critiqué mais de nouvelles idées s'y rapportant commencent à apparaître. En effet, le *tavy* est un bon compromis entre le risque climatique (ravage des cultures par les cyclones), la disponibilité en main-d'œuvre et la sécurité alimentaire. Il s'adapte bien à la logique paysanne qui n'a pas les moyens en capital pour investir dans la riziculture irriguée.

Il faut ainsi valoriser la pratique du *tavy* par la mise à disposition des nouveaux itinéraires techniques et de nouvelles variétés de riz plus productives aux paysans.

- La riziculture aquatique englobe aussi bien les cultures irriguées que celles inondées de bas-fonds ou de plaine. Elle est la plus couramment pratiquée dans toutes les zones où sa conduite peut se faire. A Madagascar, elle est pratiquée dans toute l'île.
- La riziculture pluviale se pratique sur les « tanety » et dépend de la pluviométrie. Elle se pratique aussi bien dans les zones côtières que sur les Hautes Terres de l'île de 1600 à 1800 m d'altitude.

A.1) IMPORTANCE DU RIZ PLUVIAL À MADAGASCAR

A Madagascar, la production rizicole ne suffit pas pour les besoins de la population. En moyenne, la consommation est de 167 kg par an et par personne, ce qui place Madagascar comme le plus grand consommateur mondial du riz. Pour satisfaire ces besoins, beaucoup de recherches et d'aménagement hydro agricoles ont été déjà entrepris pour améliorer la productivité. En effet, de par l'exiguïté des terrains de bas fonds permettant la conduite d'une riziculture irriguée à bonne ou à mauvaise maîtrise d'eau, la mise en valeur des tanety a été exploitée afin de conduire les cultures pluviales, dont la riziculture pluviale qui a connu un plein essor depuis les années '70. Actuellement, la riziculture pluviale occupe 50% des surfaces rizicultivées et se pratique de plus en plus même dans les zones situées jusqu'à 1800 m d'altitude malgré les conditions climatiques. Beaucoup de variétés issues de la recherche et adaptées à différentes zones écologiques sont déjà vulgarisées (Fig.1).

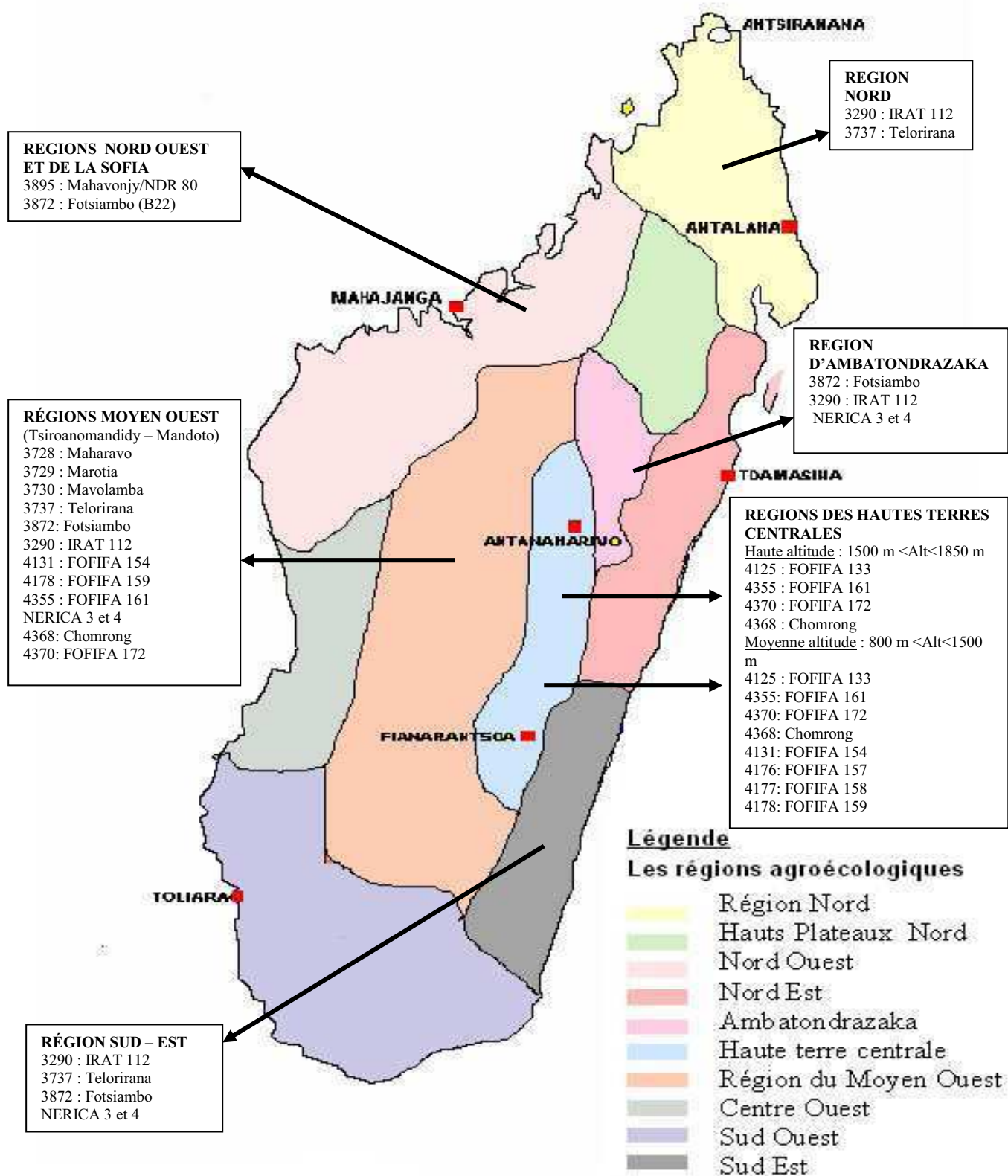


Fig.1 Les différentes variétés de riz pluvial adaptées pour chaque région écologique (Source : Rakotonirainy, FOFIFA)

A.2) LE RIZ PLUVIAL DANS LA REGION DU VAKINANKARATRA

De par l'altitude de la région du Vakinankaratra, beaucoup de variétés de riz pluvial issues de la recherche et adaptées pour chaque situation écologique sont cultivées (Fig. 2). Ces variétés sont surtout sélectionnées en raison des conditions climatiques (froid). Toutefois la riziculture pluviale connaît beaucoup de contraintes liées à différents facteurs. Parmi ceux-ci le développement des maladies telles que la pyriculariose (causée par *Pyricularia oryzae*) constitue une des contraintes majeures au développement de la riziculture pluviale dans les conditions des Hautes Terres. Les symptômes peuvent se manifester sur toutes les parties aériennes du riz. La pyriculariose peut atteindre tous les organes de la plante, mais les attaques les plus fréquentes sont celles des feuilles, du cou paniculaire, des ligules et plus rarement des nœuds de la tige. Par ailleurs, l'attaque des insectes terricoles dont les vers blancs est fortement redoutée de par la diversité d'espèces concernées. *Heteronychus arator rugifrons* constitue le principal insecte nuisible au riz pluvial. Durant toute la phase végétative la plante est toujours sujette à des attaques. En effet, les adultes d'*Heteronychus* spp s'attaquent au collet des jeunes plantules de riz en les dilacérant alors que les larves d'autres espèces de la famille des Melolonthidae mangent complètement le système racinaire (Appert, 1968). Ces dégâts larvaires s'observent surtout à partir du stade fin tallage de la culture. Dans les deux cas, la plante jaunit, se dessèche et meurt. Généralement l'apparition des premiers adultes d'*Heteronychus* coïncide avec l'arrivée des premières pluies (Octobre-Novembre). Leur activité de vol est conditionnée par l'arrivée et l'intensité des précipitations (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994). Si les infestations sont très sévères, la culture peut être détruite complètement. A l'heure actuelle comme par le passé, l'arme chimique reste le moyen de lutte le plus efficace pour réduire les populations et dégâts des vers blancs. Du point de vue économique, et dans une certaine mesure en termes d'impact environnemental, le traitement des semences constitue le meilleur moyen. Cependant les recherches menées actuellement permettent de définir les stratégies de lutte les plus durables à entreprendre contre ces ravageurs.

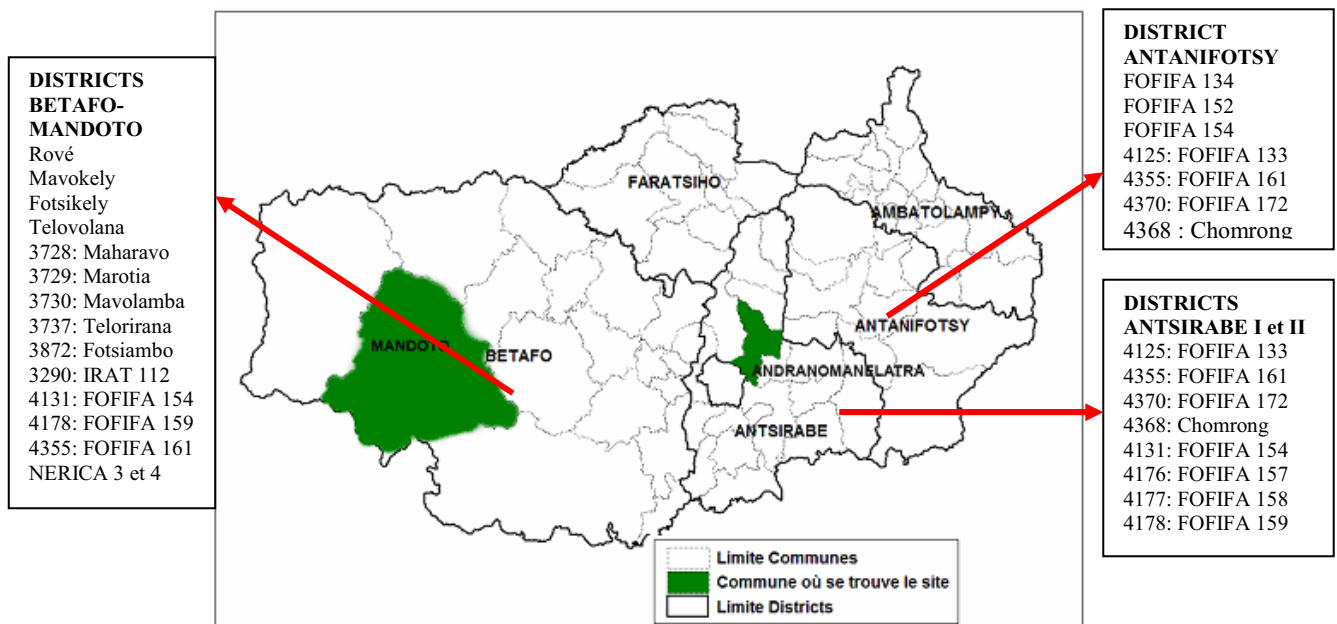


Fig.2 Les variétés de riz pluvial cultivé dans la Région du Vakinankaratra (Source : Radanielina/Rakotonirainy, FOFIFA)

B) LES VERS BLANCS OU « WHITE GRUBS »

Ce sont les larves appartenant à la famille des *Scarabaeidae* de l'ordre des Coléoptères.

B.1) DANS LE MONDE

B.1.1) LES PRINCIPALES FAMILLES DE VERS BLANCS

On recense environ 25 000 espèces regroupées selon les auteurs :

- soit dans la Super-famille des Scarabaeoidea comportant principalement les familles des Dynastidae, Melolonthidae, Cetoniidae, Rutelidae et Aphodidae ;
- soit dans la famille des Scarabaeidae comportant principalement les sous-familles des Dynastinae, Melolonthinae, Cetoniinae, Rutelinae et Aphodinae.

Des espèces de vers blancs ont été trouvées un peu partout dans le monde dont voici quelques exemples :

- *Heteronychus licas* : en Afrique (Nigeria, Swaziland, Zambie, Tanzanie, Maurice),

- *Heteronychus arator* en Nouvelle Zélande, au Zimbabwe, à Madagascar, aux Comores, en Australie,
- *Melolontha melolontha* en Europe,
- *Hoplochelus* spp. à l'Ile de la Réunion et à Madagascar,
- *Rhizotrogus majalis* au Canada,
- *Popilia japonica* au Japon, en Chine, en Amérique du Nord
- *Aphodius granarius* en Europe, aux États-Unis et au Canada

B.1.2) BIOECOLOGIE

Les espèces de vers blancs ont un développement de type holométabole, soit à métamorphose complète (œuf, larve, nymphe et adulte). Le cycle comprend trois stades larvaires, dont les premiers causent moins de dommages (Simard *et al*, 2009).

L'alimentation est un important facteur dans la biologie des Scarabaeidae car aussi bien les adultes que les larves ont des structures adaptées pour des fonctions alimentaires particulières.

On peut classer les modes d'alimentation de la façon suivante :

- Les espèces qui mangent les plantes saines :
- Les adultes de Melolonthidae et de Rutelidae se nourrissent des feuilles, des fleurs ou des jeunes fruits (Richter, 1958). Les larves peuvent être rhizophages.
- Les Dynastidae attaquent les tiges ou les racines et sucent la sève. Ils sont enfouis dans le sol (Richter, 1958).
- Les espèces qui sont saprophages et vivent dans le bois mort comme les larves de Lucanidae ou dans les débris organiques (cas du *Trox* sp), dans des feuilles pourries ou de fumier (cas des Cétoines) ;
- Enfin, il y a celles qui sont coprophages et vivent dans les excréments dont elles se nourrissent. C'est le cas d'*Aphodius* spp.

Les larves de certaines espèces creusent des galeries et la nymphose a lieu dans une loge aménagée dans le sol. C'est le cas d'*Hoplia* sp et d'*Anomala* sp (Paulian, 1990)

B.1.3) IMPORTANCE ECONOMIQUE

Les Scarabaeidae constituent une des plus importantes familles de Coléoptères tant au point de vue nombre et diversité que du point de vue intérêt économique et sont adaptés à tous les climats et à tous les régimes alimentaires (Hurpin, 1971). Les vers blancs figurent parmi les

ravageurs importants des cultures vivrières, des pâturages et même des jeunes plants d'arbres. Les adultes et larves peuvent s'attaquer aux racines ; jeunes tiges et feuilles de cultures telles que : canne à sucre, riz, maïs, cultures maraîchères, tabac.....Leurs dégâts se traduisent sous différentes formes et dépendent du stade de l'insecte. En Afrique du Sud, les adultes d'*Heteronychus arator* ont causé en 1973-74 des pertes de 8,6% sur la culture de pomme de terre, Ces dégâts se sont traduits par la présence de trous au niveau des tubercules (Venter & Louw, 1978). Madzode (1997) rapporte que les adultes d'*Heteronychus licas* provoquent un « cœur mort » des repousses de canne à sucre pouvant affecter énormément la culture.

Selon la source de leur nourriture, les larves de vers blancs peuvent être classées en 3 catégories : - des larves se nourrissant seulement de la matière organique morte (Cetoniidae), - des larves qui se nourrissent normalement de matière organique morte mais peuvent s'attaquer aux racines par défaut (Dynastidae et certains Rutelidae) et – des larves se nourrissant de préférence des racines des plantes (Melolonthidae). Parmi ces dernières figurent par exemple : *Popillia japonica* Newman et *Adoretus sinicus* Burmeister. Sur les racines des chênes-lièges, des attaques importantes des larves de *Phyllognathus excavatus* Forster (Dynastidae) et *Sphodroxia maroccana* Ley (Melolonthidae) ont provoqué 41% de dégâts (Ghaioule et al, 2007).

Dans le Sud Est du Zimbabwe, les adultes d'*Heteronychus licas* Klug provoquent le « cœur mort » des repousses de canne à sucre. Les pertes sont estimées à 40 à 50 tonnes de canne par hectare. Les larves sont plus vulnérables aux traitements insecticides que les adultes (Madzode, 1997).

Cependant toutes les espèces de vers blancs ne sont pas toutes nuisibles à l'instar des bousiers qui jouent un rôle agronomique important dans les écosystèmes.

B.2) A MADAGASCAR

B.2.1) LES FAMILLES D'IMPORTANCE AGRONOMIQUE

Parmi les cinq familles précitées, celles des Dynastidae et des Melolonthidae sont les plus à redouter compte tenu des dégâts que provoquent certains de leurs représentants aux cultures pluviales à Madagascar. Chez les Dynastidae, les espèces les plus nuisibles appartiennent aux genres *Heteronychus* (*H. arator rugifrons*, *H. plebeius*, *H. bituberculatus*, *H. minutus*) et *Heteroconus* (*H. paradoxus*), espèces endémiques à Madagascar, tandis que chez les Melolonthidae, elles appartiennent notamment aux genres *Hoplochelus* (*H. marginalis*, *H.*

rhizotrogoides), *Apicencya* (*A. waterloti*), *Enaria* (*E. melanictera*) (Appert, 1968 ; (Randriamanantsoa et al. 2002).

Du point de vue biologique, les espèces malgaches paraissent s'attaquer exclusivement aux Monocotylédones : Graminées (Maïs, Canne à Sucre, Riz), Aroïdées (*Typhonodorum lindleyanum*). Ce régime spécialisé explique l'ampleur des dégâts qu'elles peuvent causer (Paulian, 1954).

B.2.2) BIOLOGIE ET ECOLOGIE

B.2.2.1) Les plantes hôtes

Les vers blancs ont des plantes hôtes préférées mais sont capables de se nourrir de n'importe quelle plante en leur absence (Richter, 1958). Le tableau suivant montre la liste des espèces ravageurs avec leur plante hôte (Brenière & Dubois, 1965 ; Appert, 1968) (Tab.1).

Tab. 1 Les espèces de vers blancs malgaches ravageurs des cultures et leurs plantes hôtes

FAMILLES	ESPECES	PLANTES HOTES
Cetoniidae	<i>Bricoptis variolosa</i>	Rosier
	<i>Celidota stephensi</i>	Ambrevade, Crotalaire, Melilot, Dalhia
	<i>Euryomia argentea.</i>	Crotalaire, rosier
Dynastidae	<i>Heteroconus paradoxus</i>	Riz
	<i>Heteronychus bituberculatus</i>	Maïs, tabac, manioc, riz, canne à sucre, arachide, sorgho, pomme de terre, pois du cap, blé, pomme de terre
	<i>Heteronychus plebeius</i>	
	<i>Heteronychus arator rugifrons,</i> <i>Heteronychus rusticus</i>	
	<i>Oryctes augias</i>	Cocotier
	<i>Oryctes boas</i>	
	<i>Oryctes colonicus</i>	
	<i>Oryctes gigas</i>	
	<i>Oryctes pyrrhus</i>	
	<i>Oryctes ranavalo</i>	
	<i>Oryctes simiar</i>	
Hopliidae	<i>Hoplia retusa</i>	Vanillier ; Dalhia
	<i>Hoplia sp</i>	Maïs
Melolonthidae	<i>Apicencya waterloti</i>	Riz pluvial
	<i>Enaria melanictera</i>	Vanillier, caféier, riz
	<i>Encya strigiscutata</i>	Phytophage
	<i>Hoplochelus marginalis</i>	Canne à sucre
	<i>Hoplochelus pruinosa</i>	Canne à sucre
	<i>Hoplochelus rhizotrogoides</i>	Canne à sucre
Sericidae	<i>Serica castenea</i>	Prunier, manioc

B.2.2.2) Attaque sur les cultures

Heteronychus spp et *Oryctes* spp constituent les genres de Coléoptères Dynastides malgaches les plus nuisibles. Les dégâts des adultes d'*Heteronychus* spp. sont les plus à redouter et se manifestent par la dilacération des collets des jeunes plants. Les autres espèces s'attaquent au système racinaire provoquant la mort des plants (Appert, 1968). Les plants dépérissent, jaunissent et s'arrachent facilement à la main. Les larves du 3^{ième} stade (L3) d'*Hoplochelus marginalis* causent les plus importants dégâts en culture cannière (Vercambre, 1990). L'impact des *Heteronychus* sur une culture de riz ou de maïs dépend du moment d'infestation et de la densité du ravageur (PLI, 1990).

L'impact des attaques sur la culture dépend de la période d'émergence des adultes. Les trois espèces d'*Heteronychus* (*H. arator*, *H. bituberculatus*, *H. plebeius*) provoquent des dégâts similaires. Les larves d'*Heteroconus* sp peuvent faire les mêmes dégâts (PLI, 1990). Au Lac Alaotra et à Manakara, on a observé des attaques très importantes d'*Heteronychus* spp. sur riz cultivé sur mulch, en début de cycle, avec forte incidence sur les rendements (Charpentier et al., 2001 ; Dange, 2002). Les dégâts causés par les insectes terricoles sur la culture ne peuvent être cependant attribués à une seule espèce vue leur cohabitation dans une même parcelle (Randriamanantsoa, 1999 ; PLI, 1990).

B.2.2.3) Cycles biologiques

Le schéma ci-dessous montre le cycle général des *Heteronychus* et de la culture du riz pluvial. Dans la majorité des cas, les premières apparitions des adultes coïncident avec l'arrivée des premières pluies (Fig. 3a) et à la mise en place des cultures pluviales, plus particulièrement du riz pluvial. Les femelles ont besoin de se nourrir pour faire le vitellus avant de pondre d'où les importantes attaques sur les jeunes plants de riz. La ponte apparaît ainsi plus tardivement. Dans le cas d'*Hoplochelus marginalis*, la situation est différente car la pré-oviposition des femelles est rapide et la ponte est plus rapide que chez les *Heteronychus*. Les dégâts sont causés par les larves. Le stade L3 est le plus nuisible (Fig. 3b).

Dans la région du Lac Alaotra, le cycle de développement des principales espèces d'*Heteronychus* (*H. arator*, *H. plebeius*, *H. bituberculatus*) est connu (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994).

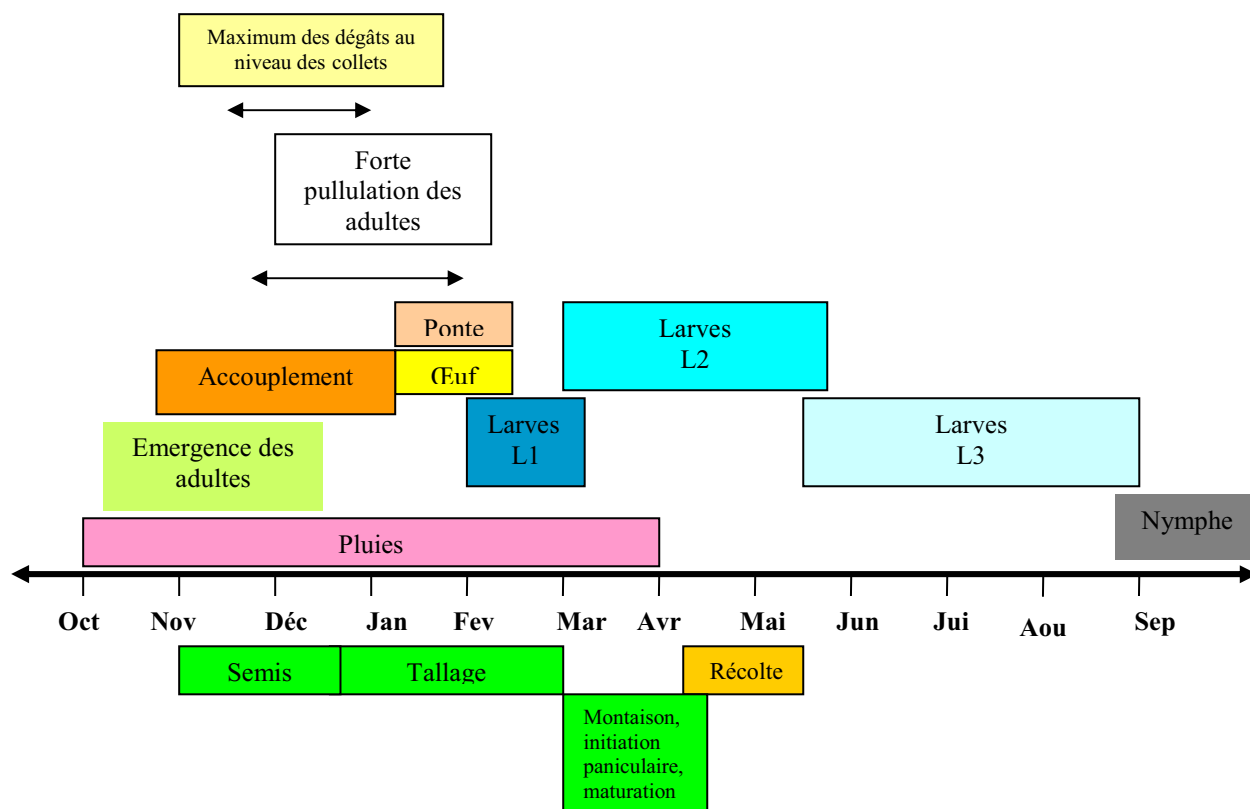


Fig. 3a Cycle général des *Heteronychus* spp (Dynastidae) et du riz pluvial

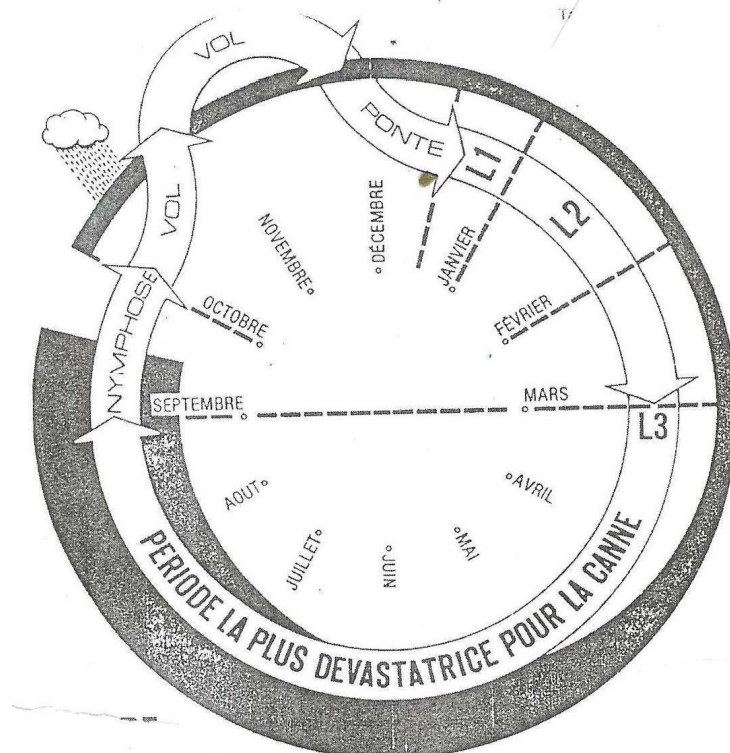


Fig. 3b Cycle de développement d'*Hoplochelus marginalis* (Melolonthidae) (Source Vercambre)

B.2.2.4) Développement et comportement des larves

Les vers blancs préfèrent les terrains argileux aux terrains sableux.

A Madagascar, les sols volcaniques évoluant vers la ferrallitisation sont plus favorables aux vers blancs que les sols ferrallitiques jaunes. Le degré hygrométrique du sol et la teneur en matière organique (présence d'humus) sont des facteurs importants pour la survie de l'insecte. Des facteurs provoqueraient des déplacements horizontaux pour la recherche de nourriture (Chaos et al, 1989). Les sols ferrallitiques rouges ou jaunes ne constituent pas un biotope pour *Heteronychus bituberculatus*. En revanche, ces types de sol conviennent à *Heteronychus arator* et dans une moindre mesure à *H. plebeius* qui préfèrent des sols sableux (Anonyme, 1954). Les larves de 3^{ème} stade des vers blancs sont fréquemment rencontrées à 20 cm de profondeur et *Hoplochelus* est moins sensible au degré hygrométrique que *Heteronychus*. Le fumier de parc peut constituer la principale source de contamination des parcelles par les vers blancs et plus particulièrement par *H. plebeius* (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994).

B.2.2.5) Emergence des adultes, accouplement et dispersion

L'émergence des adultes coïncide avec l'arrivée des premières pluies (Fig. 3a). La quasi-totalité des adultes de *Heteronychus* émergent entre les mois d'octobre et de janvier et présente un pic au mois de décembre pour se terminer progressivement en janvier (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994). Le vol est déclenché par les premières pluies d'octobre ou de novembre (Vercambre, 1990) (Fig. 3b). *Hoplochelus marginalis* n'a qu'un seul vol par an tandis que *Heteronychus* en a 2.

B.2.3) METHODES ET STRATEGIES DE LUTTE CONTRE LES VERS BLANCS

Plusieurs méthodes de lutte ont déjà fait l'objet d'études et d'application à Madagascar mais la lutte chimique demeure jusqu'à présent l'arme la plus utilisée pour minimiser les dégâts des vers blancs dans les cultures.

B.2.3.1) Lutte chimique

De nombreux tests de protection chimique des cultures contre les vers blancs ont été conduits. Certains concernent des molécules à présent obsolètes, mais même pour ceux avec des produits modernes, les résultats sont difficiles à interpréter du à une grande variabilité des sols, du climat, de l'entomofaune ; des spéculations (riz, maïs, soja) ; des conditions de

culture (labour, semis direct sur couverture morte ou vivante) ; des critères d'évaluation de l'efficacité (attaque, levée, tallage, rendement) et des modalités de traitement (des semences, du sol, l'association avec un fongicide) (Vercambre, 2001).

Sur la base des travaux récents, on peut conclure qu'avec une molécule donnée, les traitements de semences reviennent moins chers que les traitements de sol. Sur les Hautes-Terres, les traitements de semences sont mieux valorisés sous labour et les produits systémiques, tel que l'Imidaclopride, sont les plus efficaces. Cependant même les systémiques n'assurent pas une protection contre les attaques de multitudes d'adultes de « Scarabées noirs » plus importantes en semis direct que sur labour, ni contre des attaques tardives des racines par des larves (Ratnadass et *al.* 2003).

Le recours au traitement de semences donne une alternative pour réduire l'impact des ravageurs sur la culture. Une telle utilisation ciblée de pesticides affecterait peut-être moins le fonctionnement de l'écosystème des sols. En revanche, l'application répétée de certaines molécules par traitement du sol peut réduire le peuplement des prédateurs naturels de certaines espèces et influencer la décomposition et la minéralisation des matières organiques en éliminant les vers de terre.

Il faut aussi noter que le travail du sol, du fait du mélange des différents horizons, favorise la dispersion des résidus des pesticides (insecticides et herbicides) qui peuvent être plus ou moins toxiques sur les différents groupes de faune.

B.2.3.2) Lutte agronomique

Le labour peut indirectement affecter les larves par blessure, mais de plus fait remonter les larves vivantes à la surface, les exposant au rayonnement solaire qui provoque leur mort.

En Afrique australe, on a montré que le travail du sol réduisait les populations larvaires et nymphales d'*Heteronychus*. A la Réunion, le travail du sol en ramenant en surface les larves d'*Hoplochelus* peut réduire la population de 50 à 80% et le sarclage à 6-8 cm de profondeur après plantation les supprime à 30-50%. La date de plantation, le travail du sol, l'irrigation et le choix variétal peuvent réduire les populations voire annuler les pertes dues aux vers blancs (Vercambre, 1990).

Sur les Hautes Terres malgaches, les Systèmes de Culture sur Couverture Végétale (SCV) ont favorisé le développement des vers de terre, des arthropodes saprophages et des prédateurs,

plus que des vers blancs nuisibles aux cultures (Ramanantsialonina, 1999). Dans le cas des couvertures vives, l'augmentation des populations larvaires des ravageurs peut être paradoxalement inversement corrélée aux dégâts à la culture principale (notamment le riz) par "effet de leurre" (Michellon, 1996 in Ratnadass et *al.* 2006).

Le fumier de parc pourrait constituer la principale source de contamination des parcelles par les vers blancs et plus particulièrement par *Heteronychus plebeius*, ainsi que des larves de Cetoniidae (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994).

Pour se prémunir contre les attaques d'*Heteronychus*, les riziculteurs du Lac Alaotra (dont les cultures débutent souvent à sec avant d'être inondées) sèment le riz à densité triple de la dose standard (200 kg au lieu des 60-70 kg requis), ou retardent leur semis entraînant une perte de rendement. Ces techniques culturales auxquelles l'agriculteur démuné a recours (densité de semis élevée, décalage des dates de semis), représentent un obstacle à l'intensification.

B.2.3.3) Lutte biologique

L'utilisation de microorganismes pathogènes (virus, bactéries, champignons) a connu un certain succès dans le contrôle des vers blancs. Les champignons entomopathogènes sont les plus exploités tant pour la lutte contre les larves que les adultes : *Beauveria brongnartii* contre *Hoplochelus marginalis* et *Metarizium anisopliae* contre *Heteronychus plebeius*, *Heteronychus arator* et *Heteronychus bituberculatus*. La souche de *Metarizium* sp provenant de Marovato a été la plus virulente avec un taux d'individus mycosés de 48,2% sur les adultes et de 38% pour les larves et 3 % pour les œufs d'*Heteronychus* spp (Razafindrakoto, 1997).

B.2.3.4) Ennemis naturels (prédateurs et parasitoïdes)

Différentes espèces de prédateurs et de parasites ont été identifiées formant un complexe avec les vers blancs, mais ils n'ont pas fait l'objet d'études approfondies sauf les entomopathogènes. Parmi ceux-ci figurent des parasites (nématodes du genre *Mermis*, des grégarines de type *Monocystis*), des parasitoïdes (tachinaires: *Dexia rustica* F., *Microphthalma europaea* Egg, des Scolies: *Campsomeris erytrogaster*, *C. coelebs*, *C. pilosella*) et des prédateurs (Carabes tel que : *Scarites madagascariensis*, *Prodyscherus rapax* et *P. grandidieri*) Dans l'ensemble les entomophages des vers blancs n'ont qu'un rôle secondaire dans la régulation de leurs populations (Hurpin, 1971).

B.2.3.5) Autres méthodes de lutte

Utilisation d'Insecticides d'origine végétale ou minérale

Au Lac Alaotra, Rajaonarison & Rakotoarisoa (1994) ont observé au laboratoire un effet répulsif et anti-appétant d'extraits de *Melia azedarach* sur des adultes d'*Heteronychus* spp et une diminution de la fécondité des femelles. Au champ, le traitement a entraîné un gain de rendement de 15 à 33%.

L'utilisation de *Melia azedarach*, contre les attaques de *Heteronychus* spp offre une possibilité de leur contrôle même si son action est limitée à son effet répulsif et antiappétant (Razafindrakoto, 1997). Un effet indirect a été observé sur le développement des adultes d'*Heteronychus* spp car les insectes ayant attaqué les tiges traitées au *M. azedarach* voient leur développement perturbé. Rajaonarison & Rakotoarisoa (1994) rapportent que d'autres méthodes de protection sont utilisées par les paysans, telles le pétrole lampant et le gas-oil mais dont l'efficacité est nulle sinon toxique pour les plantules.

B.3) DONNEES SUR LES ESPECES D'*HETERONYCHUS*, EN PARTICULIER *H. ARATOR RUGIFRONS*

Selon les pays, *Heteronychus arator* est appelé différemment :

- Black maize beetle en Afrique du Sud,
- African black beetle en Australie
- Black beetle en Nouvelle Zélande
- Antsana, Fano, Voana à Madagascar

L'identité et la synonymie d'*H. arator* ont fait l'objet de nombreuses discussions (Dechambre, 1986). Landin (1964) in Dechambre (1986) place *H. sanctae helenae* Blanch. en synonymie avec *H. arator* Fabricius. Pour les *H. arator* malgaches, nous l'avons gardé en tant que sous-espèce, *H. arator rugifrons*, telle qu'elle a été proposée par Endrödi (1979) in Dechambre (1986) contrairement à Rajaonarison & Rakotoarisoa (1994) qui ont gardé *H. arator* en tant qu'espèce. *Heteronychus arator rugifrons* diffère d'*H. arator* non seulement du fait de l'isolement géographique de Madagascar mais aussi de la taille des mâles, plus petite chez *H. arator rugifrons* par rapport à celle d'*H. arator* ($10,79 \pm 0,32$ mm et $12,50 \pm 0,29$ mm respectivement). Par ailleurs, les paramères sont plus étroites. Si *H. arator* attaque les tiges de pomme de terre, *H. arator rugifrons* présente une préférence pour les jeunes plants de riz et de maïs.

B.3.1) REPARTITION GEOGRAPHIQUE

En Afrique, *H. arator* est présent au Botswana, aux Comores, au Congo, dans la République Démocratique du Congo, en Ethiopie, au Kenya, à Lesotho, à Madagascar, en Malawi, au Mozambique, en Namibie, en Afrique du Sud, à Saint Hélène, en Tanzanie, en Zambie, au Zimbabwe. Sa présence a été également observée, en Océanie : en Australie, à la Nouvelle Zélande.

La carte ci-dessous montre sa présence dans plusieurs pays du monde (Fig. 4)

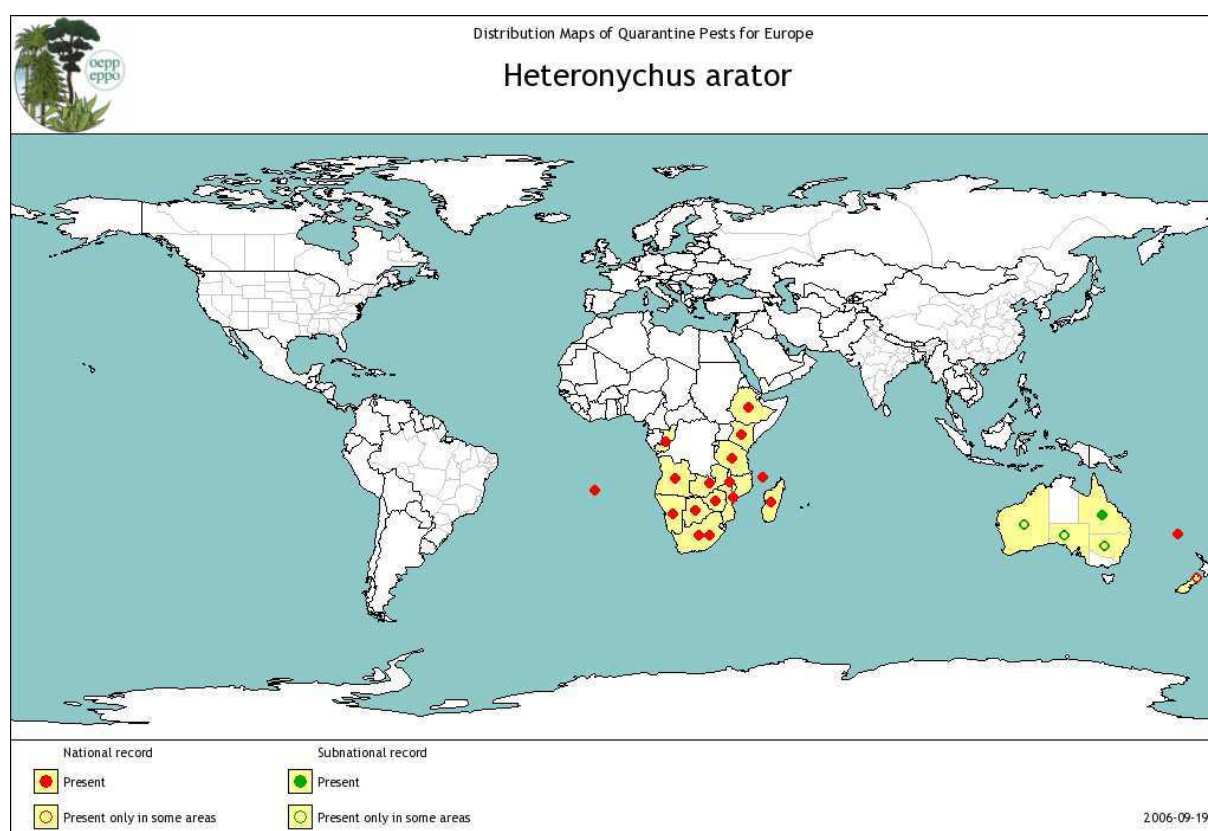


Fig. 4 CAB International, Distribution Maps of Plant Pests, 1963, June, Map 163

B.3.2) BIOLOGIE

Tous les stades de développement d'*H. arator* se passent dans le sol sauf pour les adultes qui peuvent voler. L'espèce est monovoltine. Généralement, les adultes commencent à se nourrir au printemps et les œufs sont pondus isolément dans le sol à une profondeur de 10 mm. Elevés à 25°C et 18°C, les œufs éclosent après 2 à 5 semaines respectivement. Les jeunes larves (stade L1) se nourrissent de la matière organique si les larves âgées s'attaquent aux racines des plantes. Le développement larvaire comporte trois stades. En Australie, le cycle de

développement de l'œuf à l'émergence de l'imago peut prendre 3 mois. Les températures entre 20-25°C constituent l'optimum thermique pour leur développement (King, 1981a). Dans la partie Nord de la Nouvelle Zélande, *H. arator* a été trouvé dans des régions où la température est de 13°C (Scott, 1984).

B.3.3) LES PLANTES HOTES

Les adultes et larves d'*H. arator* peuvent se nourrir des racines des plantes de pâturage et d'autres graminées. Cette espèce est polyphage et la pomme de terre (*Solanum tuberosum*) est préférentiellement attaquée. Cependant, cette espèce peut s'attaquer sur diverses plantes :

- le riz : *Oryza sativa*, Famille des Poacées (Graminées)
- le maïs : *Zea mays*, Famille des Poacées
- l'ananas : *Ananas comosus*, Famille des Broméliacées
- les choux : *Brassica napus*, *B. oleracea*, Famille des Brassicacées (Crucifères)
- les courgettes, les courges : *Cucurbita* spp, Famille des Cucurbitacées,
- la carotte : *Daucus carota*, Famille des Apiacées (Ombellifères)
- la laitue : *Lactuca sativa*, Famille des Astéracées (Composées)
- le petit pois : *Pisum sativum*, Famille des Fabacées
- les fraises : *Fragaria* sp, Famille des Rosacées
- la tomate : *Solanum lycopersicum* L., Famille des Solanacées
- des plantes ornementales comme le *Begonia*, Famille des Bégoniacées

B.3.4) DEGATS

En Nouvelle Zélande, *H. arator* peut provoquer des dégâts importants sur *Lolium perenne* (lotier) utilisé en pâturage (King *et al*, 1981a). Au Sud de l'Australie, l'insecte présente une large distribution sur pâturage (Matthiessen *et al*, 1997) mais n'est pas considéré comme un ravageur potentiel (Matthiessen & Ridsdill-Smith, 1991). En revanche, en Australie et en Afrique du Sud, *H. arator* est un ravageur important de la pomme de terre (Matthiessen & Learmouth, 1998 ; Venter & Louw, 1978). La destruction des tiges réduit considérablement la formation des tubercules. Les adultes font des trous de 10 mm de diamètre dans les tubercules et un individu peut endommager plusieurs tubercules (Matthiessen & Learmouth, 1995). *Heteronychus arator* est considéré également comme un ravageur mineur de l'ananas au Queensland (Sinclair *et al*, 1997).

Le genre *Heteronychus* est représenté à Madagascar par une série d'espèces endémiques. Les dégâts des adultes d'*Heteronychus* spp. sont les plus à redouter. Ils consistent en la dilacération des collets. Les plants dépérissent, jaunissent et s'arrachent facilement à la main. Dans le cas d'*Heteronychus licas* et *H. arator* les dégâts sont surtout causés par les adultes et larves L3. L'impact des attaques d'*Heteronychus* spp. sur la culture dépend de la période d'émergence des adultes.

C) OBJECTIFS DE L'ETUDE DES VERS BLANCS

Les vers blancs présentent une diversité taxonomique et fonctionnelle importante. En effet, si d'importants travaux ont été déjà réalisés à Madagascar sur les adultes de ces Scarabées, on ne dispose pas d'informations sur leurs larves. Vu que les larves de vers blancs se ressemblent beaucoup de par leur aspect morphologique, l'aspect taxonomique est primordial pour pouvoir faire une différenciation entre les différentes espèces. La connaissance et la distinction des larves entre les différentes espèces de ces insectes revêtent une importance capitale dans la recherche de stratégies pour leur contrôle. En revanche, l'aspect fonctionnel tel le comportement des larves présente également un aspect important car les vers blancs ne sont pas tous nuisibles. Parmi eux, on peut citer le rôle des bousiers dans l'amélioration de la qualité du sol.

Vu la diversité et la complexité des vers blancs malgaches, nos questions de recherche sont axées sur la connaissance des larves de certaines espèces de vers blancs tant sur leur différenciation que sur leur statut agronomique. Dans le présent travail, nous essayons également d'apporter des connaissances sur le principal insecte terricole, *Heteronychus arator rugifrons*, ravageur le plus fréquemment trouvé sur les Hautes Terres. Très peu d'études ont été conduites sur cette espèce dans les régions des Hautes Terres.

Ce travail comporte trois parties:

- La première partie dans laquelle nous déterminons les sites d'étude après les prospections. Puis nous procéderons à l'étude systématique des vers blancs collectés et à l'étude bio-écologique des vers blancs autres que *Heteronychus arator rugifrons* ;
- La deuxième partie est consacrée à des études au laboratoire d'*H. arator rugifrons* et à la comparaison avec les autres espèces de vers blancs ;
- La troisième partie est consacrée à des études au champ d'*H. arator rugifrons*.

PREMIERE PARTIE
SYSTEMATIQUE ET BIO-ECOLOGIE DES
VERS BLANCS AUTRES QUE
HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS

A) SITES D'ETUDE

A.1) SITES DE PROSPECTION

Madagascar est subdivisé en 22 régions. La province d'Antananarivo comprend quatre régions qui sont : Bongolava, Itasy, Analamanga et Vakinankaratra (Fig. 5)

Les prospections ont été conduites dans diverses localités de la région du Bongolava, d'Itasy et d'Analamanga (Fig. 6). Les régions du Bongolava et d'Itasy font partie de la zone du Moyen Ouest de la province d'Antananarivo, située entre 500 et 1 500 m d'altitude, entre 17° 76 ' et 19° 46'' de latitude Sud et entre 45° 48'' et 47° 08'' de longitude Est, tandis que celle d'Analamanga se trouve entre 1 000 et 2000 m dans le Centre de la province d'Antananarivo (47°31'E ; 18°55'S) :

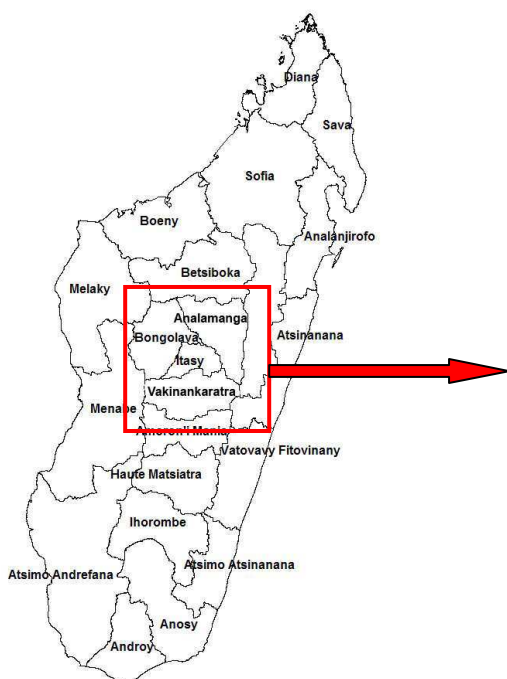


Fig. 5 Les 22 régions de Madagascar



Fig. 6 Les 4 régions prospectées de la province d'Antananarivo

Source : Unité de politique de développement rural (U.P.D.R.) du Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche (MAEP, 2003).

La collecte des larves a été conduite dans différentes localités à diverses altitudes (Fig. 7). Ces localités appartiennent aux quatre régions de la province d'Antananarivo, à savoir Analamanga (Ivato, Bevalala, Manjakandriana), Itasy (Miarinarivo, Arivonimamo),

Bongolava (Sakay, Kianjasoa, Tsiroanomandidy) et Vakinankaratra (Andranomanelatra, Ibity, Antsirabe et Ivory).

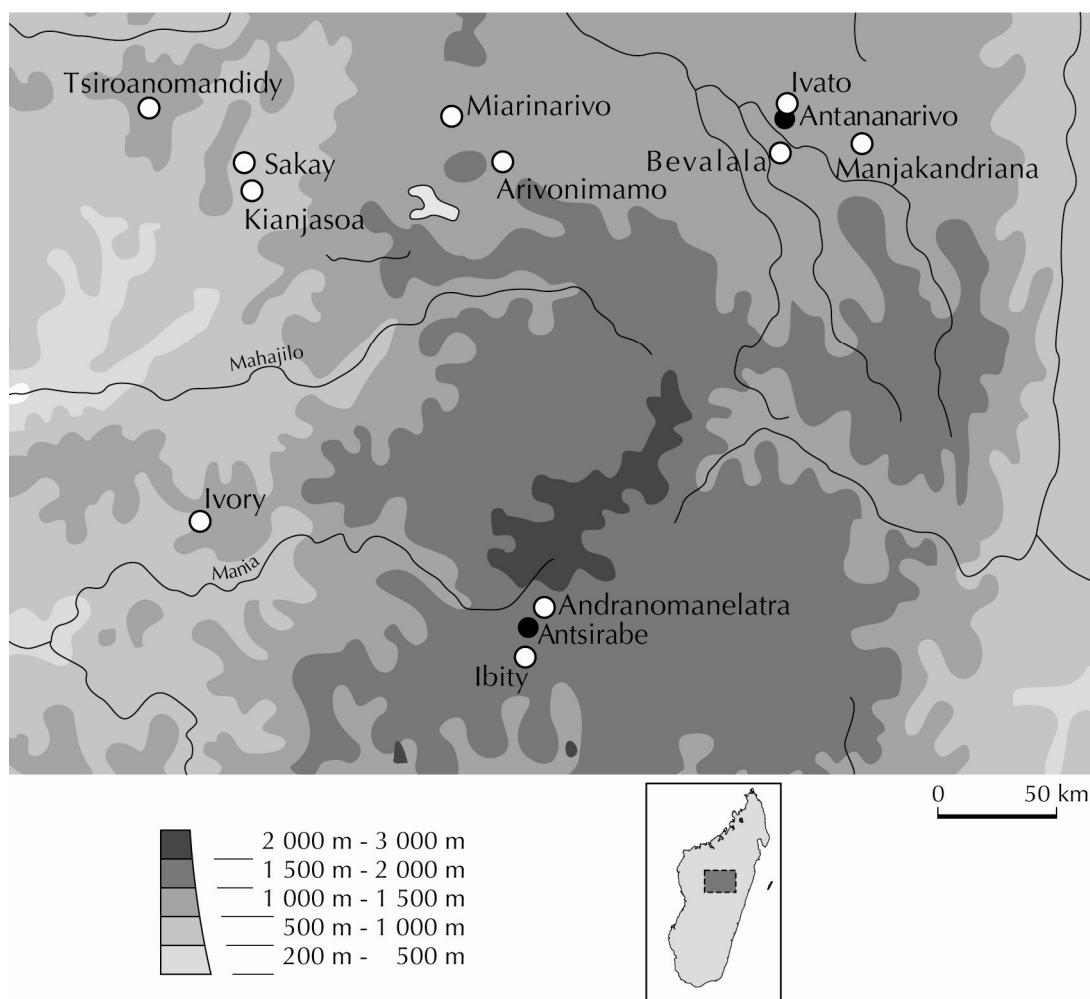


Fig. 7 Les localités de collecte de larves (points ronds en blanc) (Source : M. Duportal/R. Randriamanantsoa)

Les larves furent collectées lors des prélèvements de sol de 2003 à 2005 effectués dans les parcelles expérimentales à Andranomanelatra et Ivory et de prospections en 2003 et 2005 conduites dans les régions du Bongolava, d'Itasy (Axe Tsiroanomandidy- Antananarivo) et d'Analamanga (Ivato et Bevalala, Manjakandriana) (Tab. 2).

Tab. 2 Régions et localités prospectées en 2003 et 2005

REGIONS	LOCALITES DE PRELEVEMENTS	LATITUDE	LONGITUDE
BONGOLAVA	Andranomadio(Tsiroanomandidy)	18°49'S	46°04'E
	Sakay	19°00'S	46°27'E
	Kianjasoa	19°02'S	46°25'E
ITASY	Maharefo (Arivonimamo)	19°01'S	47°08'E
	Mandaniresaka (Analavory)	18°58'S	46°42'E
ANALAMANGA	Bevalala; Ivato (Antananarivo)	18°54'S	47°31'E
	Manjakandriana	18°53'S	47°58'E
VAKINANKARATRA	Andranoamanelatra	19°47'S	47°06'E
	Ivory	19°34'S	46°17'E
	Ibity		

Pour chaque localité prospectée, nous avons procédé à un prélèvement de sol sur une surface de 2 à 3 m² et sur une profondeur de 20 cm. Toutes les larves ont été collectées et élevées dans des boîtes rectangulaires de dimension L x l x h (21 x 10,5 x 8 cm) avec couvercle troué. Dans chaque boîte nous avons mis de la terre issue de la parcelle ou de l'endroit où les larves ont été trouvées.

A.1.1)- LA REGION DU VAKINANKARATRA

A.1.1.1) Localisation géographique

La Région du Vakinankaratra fait partie des Hautes Terres, entre 18°59' et 20°03' de latitude Sud et entre 46°17' et 47°19' de longitude Est.

A.1.1.2) Les sols

Trois grands ensembles géomorphologiques expliquent l'organisation du relief du Vakinankaratra :

Le socle cristallin est constitué de schistes cristallins (quartzites, micaschistes) et de roches métamorphiques (granites, gabbros). Les roches facilement altérables constituent des dépressions, dominées par des reliefs de roches dures.

Les massifs volcaniques proviennent d'éruptions qui se sont succédées de la fin du tertiaire (Ankaratra) jusqu'au quaternaire (volcanisme récent du Sud de l'Ankaratra), et à une époque très récente (moins de 10 000 ans à Betafo).

Les sédiments volcano-lacustres ont pour origine des phénomènes tectoniques et volcaniques. Le comblement s'est réalisé par des dépôts lacustres entre lesquels sont venues s'intercaler des coulées et des projections volcaniques, donnant un matériau très hétérogène (Raunet, 1997).

Deux types de sol dominant dans la région : les sols ferrallitiques principalement et les sols alluvionnaires.

A.1.1.3) Le climat

La Région du Vakinankaratra suit un régime climatique tropical d'altitude supérieure à 900 m, caractérisé par une température moyenne annuelle inférieure ou égale à 20°.

Dans les parties élevées de l'Est et du Centre, les températures moyennes se situent autour de 13,7°C, avec un maxima de 25,8°C et un minima de 1°C, par contre le Moyen Ouest connaît une température moyenne annuelle de 21°C avec des maxima de 30,8°C et minima de 10,2°C (UPDR, 2003).

Le climat est marqué par deux saisons :

- une saison sèche et froide de mai à septembre. La précipitation mensuelle est inférieure à 20 mm, avec une température moyenne mensuelle de 7,32°C (Minimum = 4,7°C et Maximum = 15,3°C), pouvant atteindre des valeurs négatives dans certaines localités.

- une saison humide et chaude d'octobre à avril. Les précipitations mensuelles sont supérieures à 180 mm avec une température moyenne mensuelle de 18,9°C (URP-SCRID, 2006, données non publiées).

La saison des pluies se situe entre novembre et mai (Raunet, 1981). Les précipitations moyennes annuelles sont de 1300 mm et peuvent varier de 900 à 2000 mm selon les conditions climatiques.

A.1.1.4) Les cultures

La mise en valeur des terres dépend étroitement de la nature du substrat géologique, de l'altitude et du climat. Deux types d'agriculture sont pratiqués:

- Type 1 : culture du haricot, de la patate douce, de la pomme de terre, favorisée par un climat adéquat, dans les districts de Betafo et de Faratsiho.

- Type 2 : cultures sèches, dans les districts d'Antanifotsy et d'Antsirabe II.

Les sols de la zone Sud, région volcanique, offrent des conditions agro-climatiques propices à une gamme variée de cultures. Les cultures vivrières, le riz, le maïs, le manioc, le haricot, la pomme de terre et la patate douce, occupent une grande partie des superficies cultivées. La riziculture occupe 30% de la superficie vivrière totale : riziculture irriguée (48 900 ha environ) et pluviale (9 900 ha environ) (Annuaire statistique, 2001, *in* Monographie de la Région du Vakinankaratra, UPDR 2003).

A.2) LES SITES DE TRAVAIL : ANDRANOMANELATRA ET IVORY

Les études ont été menées dans la région du Vakinankaratra : à Andranomanelatra (Centre) et à Ivory (Moyen Ouest). Ces deux localités présentent des caractères écologiques et morpho-pédologiques différents (Tab. 3).

A.2.1) LE SOL

Le sol d'Andranomanelatra est de type ferrallitique sur dépôt fluvio-lacustre, tandis que celui d'Ivory est de type ferrallitique sur coulée basaltique.

A.2.2) LE CLIMAT

Le climat des deux localités est de type subtropical avec deux saisons : une saison sèche et froide de mai à septembre et une saison chaude et humide d'octobre à avril.

A Andranomanelatra, la température moyenne est de 17°C, pouvant atteindre des valeurs négatives pendant certaines périodes de la saison sèche, alors qu'elle est plus chaude à Ivory (23°C). L'amplitude thermique est plus élevée à Andranomanelatra (Tab. 4).

Tab.3. Caractéristiques géographiques et pédologiques des sites d'étude

Région	Localités	Longitude	Latitude	Altitude	Type de sol
Centre du Vakinankaratra	Andranomanelatra	47°06'E	19°47'S	1645 m	Sol ferralitique sur dépôt fluviolacustre
Moyen Ouest du Vakinankaratra	Ivory	46°17'E	19°34'S	954 m	Sol ferralitique sur coulée basaltique

Tab. 4 Pluviométrie et température moyenne annuelle enregistrée dans les 2 sites de travail

Localités	Moyenne Pluie annuelle (mm)	Température moyenne minimale (°C)	Température moyenne maximale (°C)	Température moyenne annuelle (°C)	moyenne Amplitude thermique (°C)
Andranomanelatra (données: 2002-2006)	1451	10,5	23,5	17,0	13
Ivory (données 2006)	1298	15,8	30,4	23,1	7,3

A Andranomanelatra, les températures minimale et maximale enregistrées au cours des quatre années (2002 à 2006) consécutives sont de 6,2°C et 25,9°C respectivement.

Pour Ivory, la station météorologique n'a été fonctionnelle qu'à partir de septembre 2005. Les températures minimale et maximale au cours de cette année étaient de 12,1°C et 33,2°C respectivement.

B) ETUDE SYSTEMATIQUE DES LARVES

B.1) METHODOLOGIE

Tous les vers blancs trouvés ont été différenciés de façon préliminaire par examen du raster à l'aide d'une loupe, avec attribution d'un numéro de référence correspondant à chaque morpho-espèce. Les larves de 3^{ème} stade ou L3 ont été isolées individuellement pour éviter le cannibalisme et les 1^{ers} stades ou L1 et de 2^{ème} stade ou L2 ont été groupées.

Selon le nombre de larves récoltées, deux à cinq larves de chaque morpho-espèce collectée ont été conservées en alcool après un traitement à l'eau bouillante pendant une dizaine de secondes ou au KAAD (Kérozène; Acide acétique ; Alcool ; Dioxane : 8%, 70%, 14% et 8% du volume respectivement) pendant 30 minutes à 4 heures selon la taille des larves. Les larves âgées sont traitées plus longtemps (Peterson, 1960, 1962). Le kerozène peut être remplacé par du toluène. Ces techniques permettent de conserver les larves en bon état et les empêchent de noircir. Elles sont ensuite conservées dans des flacons hermétiques dans de l'alcool à 70°.

Le raster de chaque individu était contrôlé une seconde fois par une observation sous la loupe binoculaire, pour confirmer l'attribution à une morpho-espèce.

B.1.1) ELEVAGES

L'élevage a été conduit à une température de 25°C, au laboratoire de la Station de Recherches du FOFIFA à Antsirabe. Le but de cet élevage était d'obtenir les adultes, permettant ainsi de lier la larve à l'imagos correspondant et d'identifier la morpho-espèce.

B.1.1.1) Les larves

L'élevage a été conduit individuellement dans une boîte rectangulaire de dimension : L x l x h (6 x 4, 5 x 4,5) cm, munie d'un couvercle perforé d'un trou de 5mm de diamètre (Fig. 8). Cinq à sept larves de troisième stade de chaque espèce collectée au cours des prélèvements ou des prospections ont été suivies.

Nous avons élevé les larves collectées dans un milieu constitué d'un mélange de débris végétaux composés de graminées non spécifiques et de terre, à une proportion de 1 : 40. Ce matériel a été partiellement stérilisé au préalable pendant 72 heures à 60° C (PLI, 1990). Les débris ont été collectés au champ. Chaque boîte est remplie au 2/3 de son volume. Ce milieu permet d'avoir un taux de survie raisonnable des larves d' *H. arator*.

En effet, des expériences ont montré que les feuilles ou bois en décomposition mélangé avec de la bouse de vache desséchée constituent milieu favorable au développement des larves d' *Oryctes monoceros* et *O. rhinoceros* (Hurpin & Fresneau, 1970) et que la matière organique en décomposition constitue un milieu adapté pour l'élevage des larves d' *H. arator* et *H. tenuestriatus* (Donaldson, 1982).

Les larves de Cétoines ont été élevées sur du fumier de bovin partiellement stérilisé.

B.1.1.2) Les nymphes et les imagos

Chaque nymphe a été gardée dans sa boîte, dans le même milieu d'élevage que celui des larves, jusqu'à l'émergence de l'imagos (Fig. 8).

Une à deux nymphes de chaque espèce a été conservée en alcool à 70° en vue d'une description ultérieure. Au moment de la mue, les exuvies (larvaires et nymphales) d'une morpho-espèce sont conservées dans de l'alcool à 70° dans un même flacon. A l'émergence,

après la maturation et la pigmentation du tégument, l'adulte était tué et séché. Il était ensuite piqué sur une épingle entomologique, étalé, soigneusement étiqueté et conservé dans une boîte de collection. Chaque morpho-espèce a été codifiée dès le stade larvaire.



Fig 8. Boîte d'élevage des larves et nymphes (source : auteur)

B.1.1.3) Observations et contrôle

Le changement du milieu a été fait tous les 3 jours et l'humidité dans les boîtes a été vérifiée tous les jours. Faute d'hygromètre, l'humidité était contrôlée au toucher. En effet, trop d'humidité provoque la mortalité des larves.

B.1.2) DIFFERENCIATION ET DIAGNOSE DES LARVES

Les critères de différenciation sont tirés d'un examen morphologique : l'habitus, le raster et d'autres organes : épipharynx, labre, hypopharynx, maxille, antenne, mandibules gauche et droite (avec ou sans aire mandibulaire). La diagnose est la description des caractères distinctifs de chaque espèce (Paulian & Baraud, 1982 ; Booth et al. 1990). Nous les avons photographiés ou dessinés. Nous avons employé la terminologie de Peterson (1962) (Figs. 9 et 10). Les déterminations, les illustrations et les descriptions ont été faites au laboratoire de Faunistique et de Taxonomie du Cirad / UMR CBGP à Montpellier.

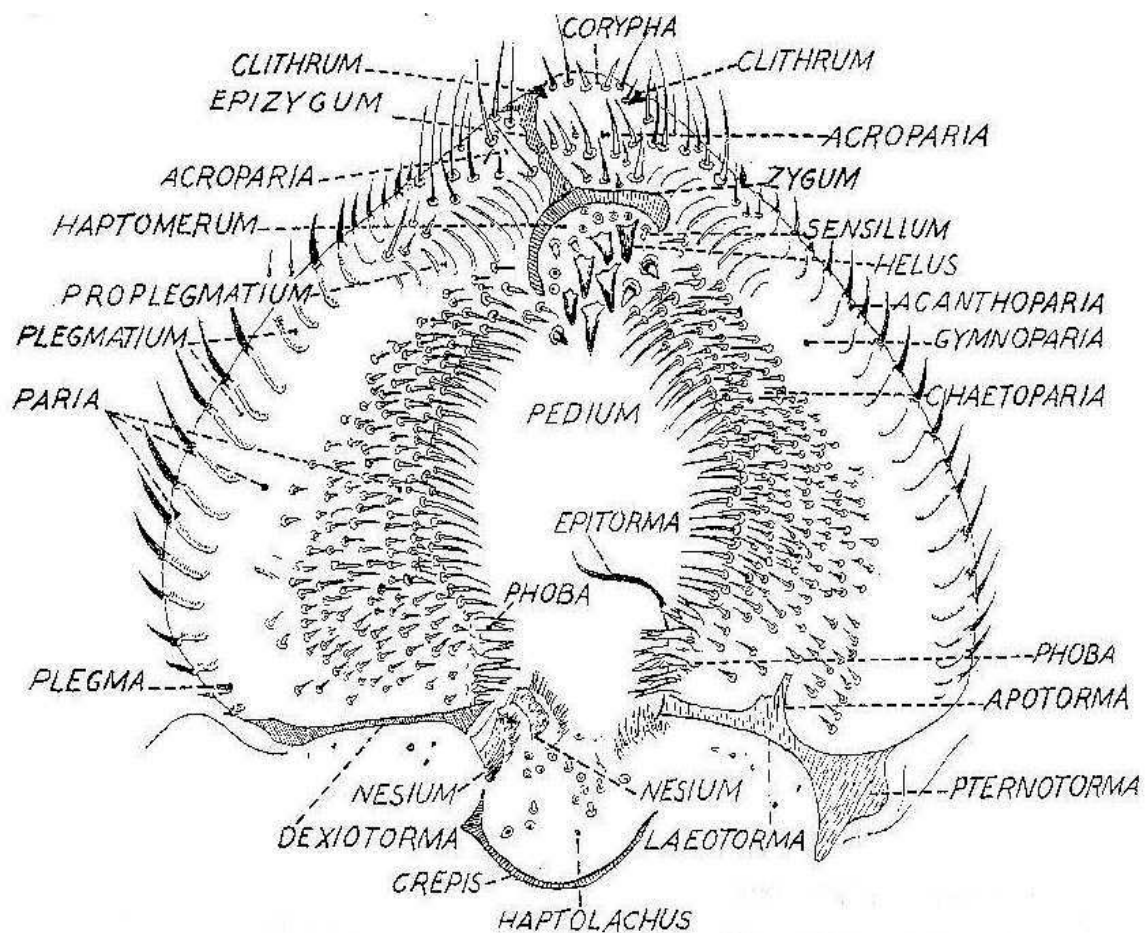


Fig. 9 Schéma d'un épipharynx de Scarabaeoidea (Peterson, 1962)

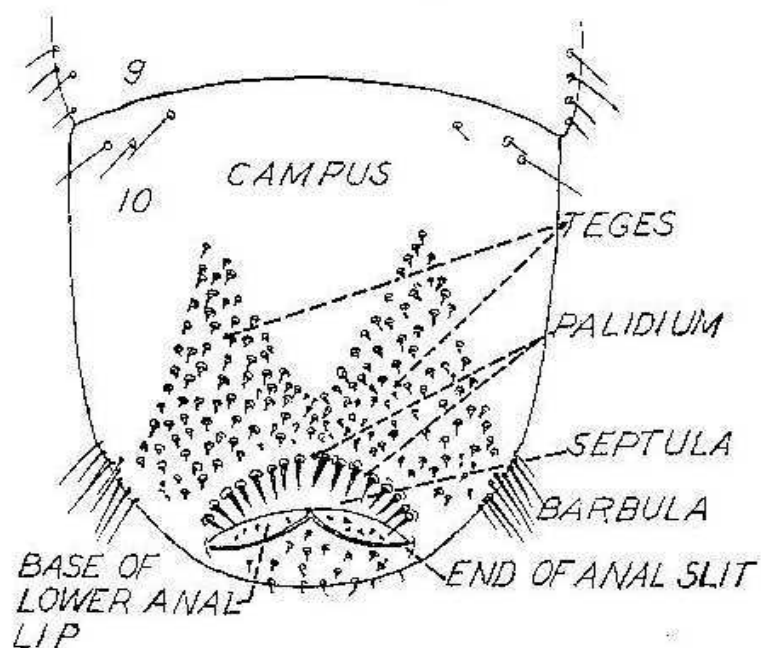


Fig. 10 Schéma d'un raster et de la fente anale d'un Scarabaeoidea (Peterson, 1962)

B.1.2.1) Préparation des échantillons

La manipulation consiste à nettoyer le spécimen (larves, nymphes et adultes) et à disséquer les organes à examiner dans le cas de la larve. Le nettoyage se fait à l'aide d'un petit pinceau sous une loupe binoculaire dans une salière renfermant de l'alcool 70°. Les imagos ont été soigneusement étalés et mis à sécher dans une étuve à 45° C.

B.1.2.2) Photo

Les photographies des plus grands spécimens (> 1 cm) ont été prises avec un appareil photo réflex numérique monté sur un statif de reproduction : soit un *Nikon D 70* (6 mégapixels) muni d'un objectif macro AF Micro Nikkor 60 mm f 1 : 2,8 et de bagues allonges, soit un *Canon EOS 350 D* (8 mégapixels) muni d'un objectif macro EF-S 60 mm f 1 : 2,8 USM (Fig. 11). Les plus petits échantillons (< 1 cm) ont été photographiés avec une loupe binoculaire LEICA MZ 16 équipée d'une caméra numérique (Fig. 12). L'éclairage était obtenu soit par des fibres optiques à travers un cylindre de papier calque, soit par une « boîte à lumière » spécialement conçue pour la photo des insectes (Aberlenc 2006) (Fig.11). Chaque image résulte de la fusion avec le logiciel *Combine Z4* de plusieurs photos (entre 2 et 25) faites en faisant varier la mise au point, pour obtenir une profondeur de champ satisfaisante.



Fig.11 et 12 Dispositif pour la prise des photos (photo HP. Aberlenc et R. Randriamanantsoa)

Les photos ont été réalisées au Laboratoire National de la Protection des Végétaux, U.F.R. d'Ecologie animale et de Zoologie agricole de Montpellier et au Laboratoire de Faunistique et Taxonomie du Cirad / UMR CBGP à Montpellier.

Pour bien positionner la partie à photographier, les gros échantillons étaient maintenus avec de la pâte à modeler de couleur blanche ou du gel de silice et parfois calés par des épingles. Les très petits échantillons étaient quant à eux placés dans une salière, dans de la glycérine.

Les imagos ont été identifiés. Certains ont pu l'être par nos soins. En revanche, d'autres ont été envoyés à des spécialistes au Muséum national d'Histoire naturelle de Paris et au Laboratoire de Faunistique et de Taxonomie du Cirad / UMR CBGP à Montpellier.

B.1.3) BIO-ÉCOLOGIE DES VERS BLANCS

B.1.3.1) Etude de la préférence alimentaire de trois espèces de vers blancs : Apicencya waterloti (Melolonthidae) ; Bricoptis variolosa (Cetoniidae) et d'Heteroconus paradoxus (Dynastidae).

L'étude a été menée au laboratoire à température ambiante (20 à 23°C) en microcosme (terrarium), de dimension (L x l x h) 30 x 2,5 x 25 cm, constitué de parois en verre avec une face amovible. Le déplacement de la larve, lorsqu'il est visible, et les formes de dégâts sur la plantule de riz ont pu être suivis à l'œil nu.

B.1.3.2) Conduite de l'étude

Les études ont porté sur les espèces *Bricoptis variolosa* (Cetoniidae) et *Apicencya waterloti* (Melolonthidae). Ces larves proviennent des échantillonnages dans la parcelle expérimentale d'Andranomanelatra tandis que celles d'*Heteroconus paradoxus* (Dynastidae) ont été collectées à Tsarahasina et à Ivory.

Quatre terrariums représentant 4 répétitions ont été utilisés. L'étude a été répétée 4 fois dans le temps (Tab. 5). Chaque terrarium contenait un plant de riz repiqué âgé de 15 jours, du fumier de bovin, partiellement stérilisé à 60°C pendant 72 heures, et déposé dans une bande en forme de « puits ». Pour introduire le fumier dans la bande nous avons utilisé des parois en carton disposées orthogonalement aux principales faces vitrées d'observation. Le carton était

retiré après le remplissage. Le reste du terrarium était rempli avec de la terre stérilisée provenant de l'endroit de prélèvement de la larve étudiée (Fig. 13).

- a) T1 = un plant de riz repiqué
- b) T2 = terre seule
- c) T3 = fumier de bovin (prélevé en bordure du parc) déposé en forme de « puits » dans le terrarium.

L'infestation a été faite avec des larves du 3^{ème} stade des espèces étudiées. Pour les répétitions 2 et 4, elle a été réalisée une semaine après repiquage des plants de riz et deux à trois semaines pour les répétitions 1 et 3 (Tab. 5). Chaque larve était déposée dans le compartiment du milieu (Traitement T2), au centre, à 2,5 cm de profondeur.

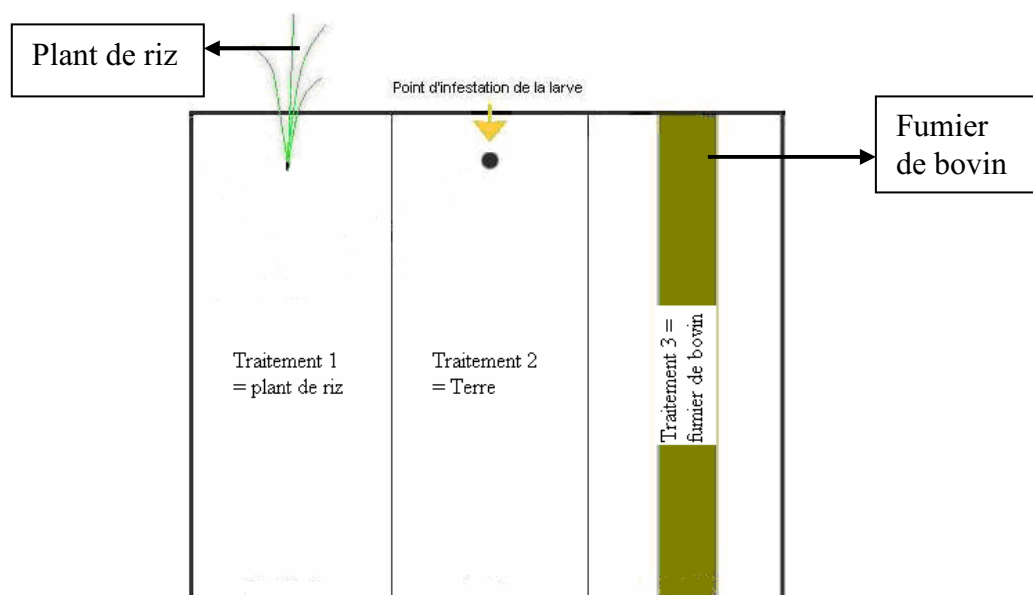


Fig. 13 Dispositif dans le terrarium

Pour disposer en permanence des jeunes plants prêts à être repiqués, des semis échelonnés ont été réalisés.

Tab. 5 Moment de repiquage des plants de riz et d'infestation

	Répétition 1	Répétition 2	Répétition 3	Répétition 4
Date de repiquage	18 janvier 2006	16 février 2006	23 février 2006	16 mars 2006
Date d'infestation	07 février 2006	23 février 2006	09 mars 2006	23 mars 2006
Fin manipulation	14 février 2006	03 mars 2006	16 mars 2006	30 mars 2006

Afin de permettre un bon développement de la plante et de la larve, le dispositif était humidifié tous les deux jours. Chaque face du terrarium était recouverte par un carton pour que la lumière ne perturbe pas le comportement de la larve.

B.1.3.3) Contrôle et observations

Les observations ont porté sur :

- a) *Les dégâts sur la plante* : au niveau des racines ou du collet. Pour les dégâts sur racines, nous avons vérifié si elles étaient seulement sectionnées ou mangées dans le sens de la longueur.
- b) *Le déplacement* de la larve vers l'un ou l'autre des traitements. La position de la larve a été notée lorsqu'elle était visible de l'extérieur. A la fin de la manipulation, sa position a été notée.

Le contrôle a été fait tous les jours à la même heure, chaque manipulation ayant duré 7 jours.

B.1.3.4) Etude de la plasticité trophique de cinq espèces de vers blancs

Par ailleurs, dans une autre expérimentation, nous avons utilisé le même dispositif mais en divisant le microcosme en deux compartiments au moyen d'une paroi en carton. Trois traitements avec quatre répétitions ont été considérés. Ces traitements sont : sol seul (SS), sol mélangé à du fumier de bovin (SFB) et sol mélangé avec de la paille de riz broyé (SPR). Chaque microcosme était rempli de sol seul (SS), ou de sol mélangé à du fumier de bovin (SFB) ou de sol mélangé avec de la paille de riz broyé (SPR) à raison de 100 g pour 1 kg de sol. Les sols utilisés dans l'expérimentation sont pauvres en matière organique et provenaient d'Ibity et d'Andranomanelatra.

A l'extrémité de chaque compartiment, un jeune plant de riz était repiqué. Une larve était placée au milieu une semaine après le repiquage. La larve était localisée et son comportement observé 14 jours après l'infestation.

Pour cette étude, nous avons utilisé des larves de troisième stade de Dynastidae : *Heteroconus paradoxus*, *Heteronychus arator rugifrons*, *Heteronychus bituberculatus* et *Heteronychus plebeius* et de Cetoniidae : *Bricoptis variolosa*.

Les observations ont porté sur les dégâts occasionnés à la plante au niveau racinaire ou au collet en comptant le nombre de racines totales (lorsque cela était visible) et le nombre de racines coupées et/ou mangées.

B.1.3.5) Activité de vol

Afin d'étudier la période d'activité de vol et de connaître la période d'abondance des adultes de vers blancs, dont *Heteronychus*, un piège lumineux fonctionnant avec un groupe électrogène et équipé d'une ampoule d'une puissance de 160 Watts fut mis en place à Andranomanelatra à mi-hauteur d'une toposéquence, située au Nord de celle qui a été utilisée pour les prélèvements, allant des bas fonds (avec dominance de rizières) vers le sommet où dominant les cultures pluviales comme le riz pluvial, le maïs, le soja, le haricot, etc.... Il est constitué d'un toit en tôle et d'une armature en bois avec des séparations multidirectionnelle. Cette séparation est faite d'un tulle blanc à maille fine laissant traverser la lumière. La lampe est fixée à 1,50m du sol, au milieu vers le sommet du tulle, pour avoir une répartition homogène de la lumière dans toutes les directions. Une boîte à compartiment multidirectionnel, munie d'un couvercle permet de récolter les insectes capturés. Ce dernier est couvert pour éviter que les insectes s'échappent (Fig. 14). Ces compartiments sont orientés différemment :

- compartiment N°1 : orientation Sud
- compartiment N°2 : orientation Est
- compartiment N°3 : orientation Nord
- compartiment N°4 : orientation Ouest

Chaque compartiment du piège correspond à des milieux et zone différente. Le tableau suivant montre les caractéristiques de ces milieux (Tab. 6).

Tab. 6 Caractéristiques des milieux correspondant aux différentes orientations du compartiment du piège

Orientations	Niveau	Milieu	Cultures dominantes
Nord	Bas-fonds	Un peu humide	Rizières
	Mi-Hauteur	Sec en surface mais un peu humide en profondeur	Cultures pluviales
Ouest	Bas-fonds	Un peu humide	Rizières
	Mi-Hauteur	Sec en surface mais un peu humide en profondeur	Cultures pluviales
Est	Hauteur	Sec	Riz pluvial Cultures pluviales
Sud	Hauteur	Sec	Cultures pluviales Jachère

Le piège a fonctionné du 11 janvier au 24 février 2005, chaque soirée de 18h à 20h. En effet le groupe électrogène n'a été disponible que le 11 janvier et à partir du 24 février, il était tombé en panne.

Les captures journalières sont triées puis dénombrées par espèces et par orientation au laboratoire.

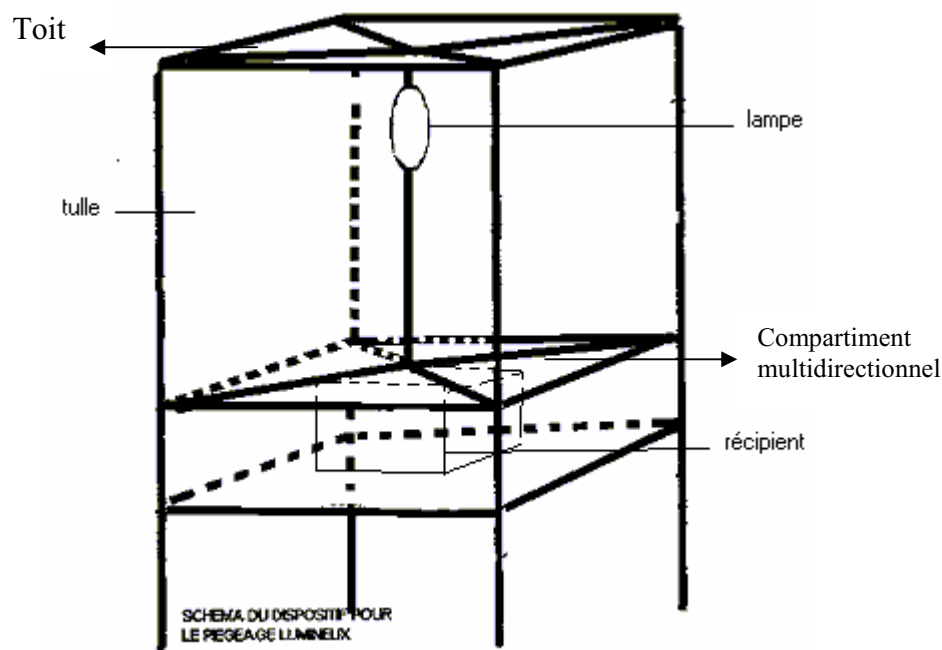


Fig. 14 Dispositif de piégeage lumineux

B.1.3.6) Biotope des vers blancs

De février à mars 2005: le 09 Février, le 11 février, le 18 février et le 04 mars, des prélèvements ont été conduits le long d'une toposequence à Andranomanelatra. Ces prélèvements ont été faits : - en bas -fonds près des rizières ; - à mi-hauteur et – sur le sommet de la toposéquence. La distance entre les différents niveaux est de 120 m environ.

Quatre prélèvements par niveau, espacés tous les 30m sur la ligne, ont été réalisés. Le prélèvement consiste à faire des trous de 20 cm de profondeur sur une surface de 2m X 2m. Afin de bien localiser les adultes, un décapage de la terre sur 5 cm de profondeur a été fait dans chaque carré de prélèvement. Par la suite, le sol a été complètement labouré jusqu'à 20 cm.

La terre et l'enchevêtrement des racines des plantes ont été soigneusement triés. Tous les individus trouvés (adultes, œufs et larves de vers blancs) ont été dénombrés, collectés et identifiés au laboratoire.

Au mois de juin 2005, un prélèvement sur une autre toposéquence située dans la même localité a été conduit. Ce prélèvement consiste à faire des trous de 50 cm X 50 cm de côté sur différents niveaux de profondeur : 0-10 cm ; 10-20 cm et 20-30 cm. Nous avons toujours considéré les 3 niveaux : bas-fonds, mi-hauteur et sommet, avec toujours les mêmes distances. Par niveau, 5 trous ont été échantillonnés. La terre prélevée était triée minutieusement sur place et les insectes trouvés sont dénombrés selon leur appartenance et le niveau considéré. Au laboratoire, les espèces collectées ont été identifiées et le stade de développement des larves trouvées a été caractérisé. Pour chaque endroit de prélèvements, la végétation, l'aspect du sol (sec ou humide) et le type de sol sont notés.

Les tableaux 7 et 8 ci-dessous montrent les caractéristiques de chaque niveau de la toposéquence.

Tab. 7 Caractéristiques des différents niveaux de la toposéquence du prélèvement de Février

Niveau de la toposéquence	Type de sol	Humidité du sol	Végétation dominante
Hauteur	Ferrallitique	Sec	<i>Cynodon dactylon</i> , <i>Trifolium repens</i> <i>Brachiaria</i> sp
Mi-Hauteur	Ferrallitique	Sec	<i>Cynodon dactylon</i> , <i>Brachiaria</i> sp avec <i>Trifolium repens</i> , <i>Aristida</i> sp
Bas fonds	Noir	Humide	<i>Sétaria</i> sp, <i>Aristida</i> sp, <i>Cynodon dactylon</i>

Tab. 8 Caractéristiques des différents niveaux de la toposéquence du prélèvement de Juin

Niveau de la toposéquence	Type de sol	Humidité du sol	Végétation dominante
Hauteur	Ferrallitique	Sec	<i>Pennisetum clandestinum</i> , <i>Brachiaria</i> sp, <i>Cynodon</i> <i>dactylon</i> ,
Mi-Hauteur	Ferrallitique	Sec en surface et un peu humide en profondeur	<i>Aristida</i> sp, <i>Cynodon</i> <i>dactylon</i> , <i>Setaria</i> sp, <i>Brachiaria</i> sp, <i>Trifolium</i> <i>repens</i> ,
Bas fonds	Un peu calcaire	Un peu humide	<i>Aristida</i> sp, <i>Oryza sativa</i> , <i>Cynodon dactylon</i>

B.2) RESULTATS

B.2.1) LIENS ENTRE LARVE-NYMPHE ET IMAGO - IDENTIFICATION DES ESPECES

B.2.1.1) Caractérisation des larves collectées

Nous avons dans la mesure du possible élevé les larves collectées jusqu'à obtention de l'imago, Nous n'avons pas toujours pu avec certitude classer certaines larves dans une des morpho-espèces précédemment définies.

Nous avons eu au départ 34 morpho-espèces codifiées. Ayant obtenu les imagos, il s'est avéré après comparaison que certaines larves séparées en morpho-espèces distinctes appartenaient en fait à la même espèce. En termes taxonomiques, nous avons collecté 26 espèces, appartenant aux familles des Melolonthidae (30,8%), des Hopliidae (3,9%), des Orphnidae (3,9%), des Sericidae (7,79%), des Dynastidae (34,6%) et des Cetoniidae (19,2%). La liaison larve-adulte a été formellement établie pour 19 d'entre elles et 17 ont été formellement identifiées (Tab. 6). Parmi ces 26 espèces, 6 sont mortes et ne sont pas arrivées à l'émergence (Tab. 6), dont 1 Cetoniidae, 2 Dynastidae et 3 Melolonthidae, mortalité due à une panne de l'étuve réfrigérée (la température interne de l'étuve est accidentellement descendue à 0°C).

Durant notre prospection et prélèvements, aucune larve d'*Heteronychus minutus* n'a été trouvée. Toutefois nous avons collecté des adultes sur riz pluvial, raison pour laquelle nous avons intégré l'espèce dans notre liste.

B.2.1.2) Identification des larves collectées

Morphologiquement, les vers blancs se ressemblent beaucoup et il est très difficile de les distinguer au premier coup d'oeil, sauf celles des Cetoniidae qui se déplacent sur le dos. L'identification a pu être faite grâce à l'émergence des imagos reliés à la larve (Tab.9). L'existence des volumes de la *Faune de Madagascar* (Paulian 1981, 1984 ; Dechambre 1986 ; Lacroix 1989, 1993, 1997, 1998) nous a permis d'identifier certaines espèces, tandis que les autres ont été envoyées à divers spécialistes (M. Lacroix, R.P. Dechambre, J.B Huchet, H.P. Aberlenc et A. Philippe).

Tab. 9. – Les espèces de « Vers blancs » collectées en riziculture pluviale des régions de hautes et moyennes altitudes du Centre de Madagascar

Familles	Espèces	Lieu de collecte
Cetoniidae	<i>Anochilia bifida</i> (Olivier, 1789)	Ibity
	<i>Bricoptis variolosa</i> (Gory & Percheron, 1833)	Andranomanelatra, Sakay, Arivonimamo
	<i>Celidota parvula</i> (Janson, 1881)	Andranomanelatra, Ibity, Kianjasoa, Arivonimamo, Ivato
	<i>Euryomia argentea</i> (Olivier, 1789)	Ambohimanabe
	<i>sp.C1</i>	Andranomanelatra
Dynastidae	<i>Heteronychus arator rugifrons</i> (Fairmaire, 1871)	Andranomanelatra, Ivory, Ibity, Andranobe, Sakay, Kianjasoa, Arivonimamo, Ivato, Manjakandriana
	<i>Heteronychus bituberculatus</i> (Kolbe, 1900)	Andranomanelatra, Sakay, Kianjasoa, Bevalala, Ivato
	<i>Heteronychus minutus</i> (Burmeister, 1847)	Ibity
	<i>Heteronychus plebeius</i> (Klug, 1833)	Sakay, Kianjasoa, Maharefo et Ivato
	<i>Heteroconus paradoxus</i> (Endrödi, 1968)	Ankevobe, Andranomanelatra, Ampandrotrarana
	<i>Hexodon unicolor unicolor</i> (Olivier, 1789)	Andranomanelatra
	<i>Paranodon coquerelii</i> (Fairmaire, 1871)	Ampandrotrarana
	<i>sp.D1</i>	Andranomanelatra, Ambatofotsy (Ambatondrazaka)
	<i>sp.D2</i>	Ambatofotsy (Ambatondrazaka)
Hopliidae	<i>Paramorphochelus cornutus</i> (Nonfried, 1892)	Andranomanelatra, Ivory
Melolonthidae	<i>Apicencya waterloti</i> (Dewailly, 1950)	Andranomanelatra
	<i>Empecta scutata</i> (Fairmaire, 1901)	Ivato
	<i>Enaria melanictera</i> (Klug, 1833)	Antanikatsaka, Sakay
	<i>Encya sikorai</i> (Brenske, 1891)	Andranomanelatra, Bevalala, Ivato, Manjakandriana
	<i>Hoplochelus betanimena</i> (Künckel, 1887)	Bevalala, Ivato et Manjakandriana
	<i>sp.M1</i>	Ivory
	<i>sp.M2</i>	Antanikatsaka
	<i>sp.M3</i>	Mangalaza, Ampandrotrarana
Orphnidae	<i>Triodontus nitidulus</i> (Guérin, 1844)	Andranomanelatra, Ambohimiarivo
Sericidae	<i>sp.S1</i>	Ivory, Ambohimanabe
	<i>sp.S2</i>	Andranomanelatra, Atsanga, Sakay Manjakandriana,

Les larves de ces espèces ont été élevées à température ambiante du laboratoire (20-23°C). Quelques morpho-espèces n'ont pas pu être identifiées, soit parce qu'elles sont mortes au cours de l'élevage [un Cetoniidae (*sp.* C1), deux Dynastidae (*sp.* D1 et *sp.* D2) et trois Melolonthidae (*sp.* M1, *sp.* M2 et *sp.* M3), soit parce que la systématique du groupe auquel elles appartiennent est en cours de révision [deux Sericidae (*sp.* S1 et *sp.* S2)].

Hoplochelus marginalis figure parmi les espèces de vers blancs malgaches et est présente dans beaucoup de régions de l'île. Une des espèces de Melolonthidae collectées et non identifiée pourrait l'être. Toutefois, cette hypothèse mérite d'être vérifiée en procédant à une nouvelle collecte dans les zones de collecte. Pour les morpho-espèces de larves qui n'ont pas pu arriver à terme, nous envisageons de refaire une collecte et de les élever pour avoir la liaison entre la larve et l'imago et pouvoir les identifier. Parmi celles-ci, il y aurait eu probablement des Scarabaeinae ou Geotrupidae dont l'abondance des adultes a été observée dans les pit fall trap.

Il est bien connu que toutes les vers blancs se ressemblent, étant toutes caractérisées par un corps arqué en C, mou, charnu et de couleur blanche. Cependant, les études que nous avons entreprises au cours de ce travail ont montré la possibilité de pouvoir les identifier simplement, grâce l'examen du raster. Cette structure se trouve à l'extrémité postérieure de la larve, en face ventrale. La forme du raster diffère selon les familles et les espèces. Les figures suivantes montrent les caractères distinctifs que nous avons retenu pour faire la différenciation des larves et des nymphes des espèces que nous avons trouvées au cours de notre étude. Ces caractères concernent l'habitus, le labre, l'épipharynx, et le raster de la larve de troisième stade. Les nymphes de certaines espèces n'ont pas pu être photographiées car elles étaient enveloppées dans une loge.

B.2.2) DIAGNOSE DES LARVES

Parmi les Cetoniidae, les espèces qui ont pu être collectées sont présentées ci-après

FAMILLE CETONIIDAE

B.2.2.1) Bricoptis variolosa (Gory & Percheron, 1833)

- Larve

La larve présente une coloration blanc ivoire et mesure en moyenne 24 mm. Sa tête est brun jaunâtre (Fig. 15). Les pattes sont courtes et P1, P2 et P3 ont une structure analogue avec

coxa, trochanter, fémur tibia et tarse différenciés. Le tarse est allongé et pointu, plus pigmenté que les segments précédents, et est terminé par une courte et fine griffe sclérifiée



Fig. 15 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 16). Il est transverse, faiblement trilobé, symétrique. Le lobe médian comporte quatre soies externes et deux longues soies internes. Le lobe latéral est formé, d'avant en arrière, de cinq soies antérieures (la plus latérale étant longue), de deux courtes soies suivies d'une longue soie latérale et d'une longue soie latéro-postérieure. Par ailleurs, on a deux longues soies labro-internes et quatre soies postérieures (en deux groupes de deux soies).

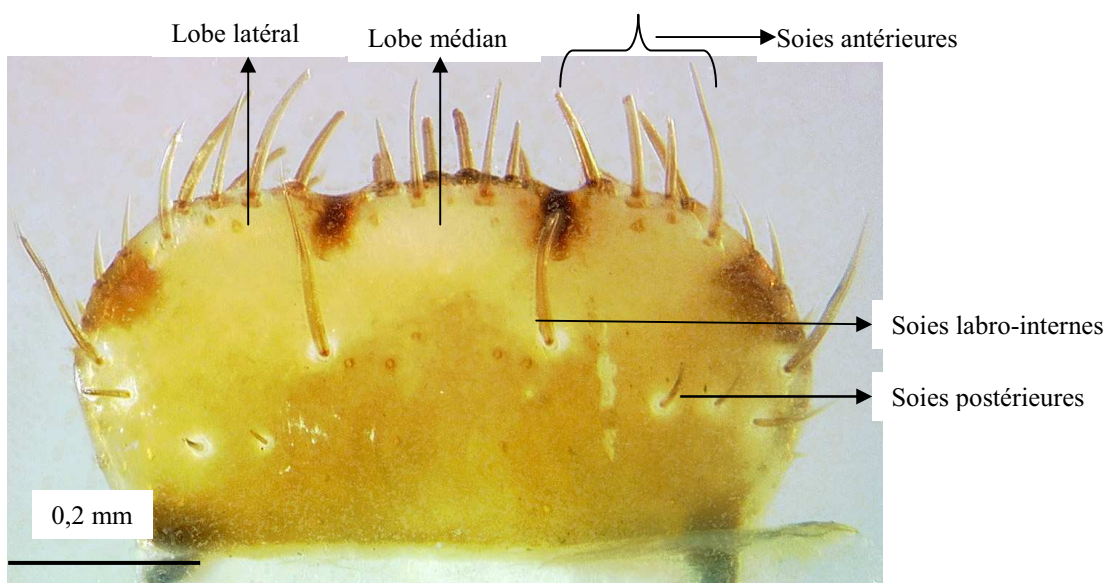


Fig. 16 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 17). L'haptomère est formé d'une rangée transverse arquée de 12 courtes et fortes épines disposées en peigne, avec trois fortes épines médianes en avant de l'aire pédiale, qui porte une vingtaine de soies fines et courtes peu denses. Le chaetoparia comprend deux rangées concentriques de fortes soies convergeant sensiblement vers l'aire pédiale, les plus grandes étant à l'intérieur, avec des soies fines et courtes à la périphérie. L'acanthoparia est composé de cinq à sept soies de taille croissante d'arrière en avant.

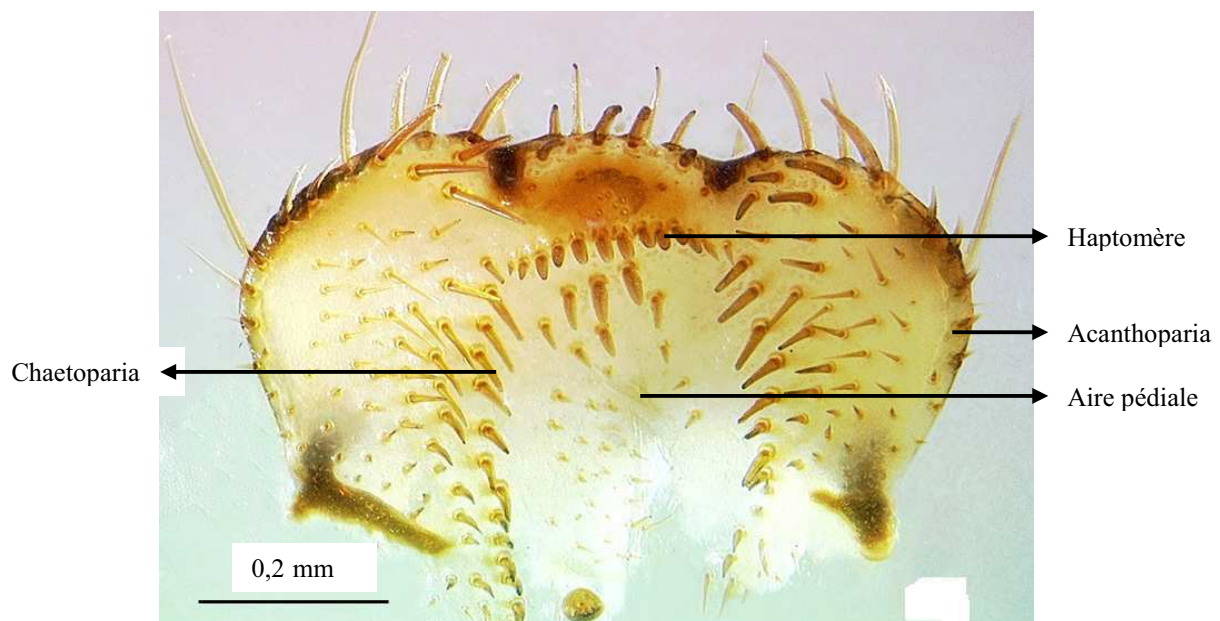


Fig. 17 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 18). Il est caractérisé par la présence de palidia formés de deux rangées longitudinales légèrement concaves de 12 à 19 épines. Le septula est glabre. Le teges est formé de soies courtes, peu denses. La fente anale est transverse, faiblement arquée, proche de l'apex abdominal.

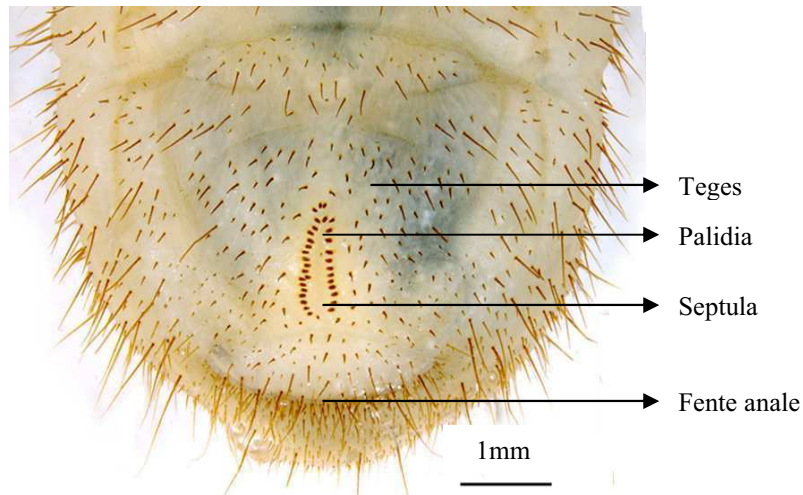


Fig. 18 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymph (Fig. 19)

Elle est de couleur jaunâtre. Le pronotum est convexe et anguleux latéralement (deux fois plus large que long). L'écusson est triangulaire et bien développé. Les bords latéraux de l'abdomen sont légèrement convexes. Le dernier segment abdominal présente des bords arrondis. Sur l'abdomen, on distingue huit paires de stigmates abdominaux saillants de taille décroissante de la base vers l'apex, la première paire cachée sous les ptérothèques.

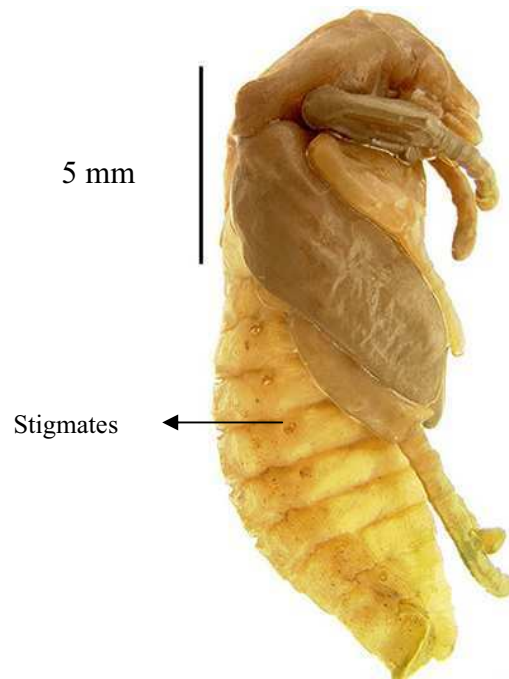


Fig. 19 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.2) Celidota parvula (Janson, 1881)

- Larve

La couleur est blanc ivoire, de taille moyenne égale à 22,5mm. Sa tête est brun jaunâtre (Fig. 20). Les pattes sont courtes et de longueur croissante de P1 à P3 avec une structure analogue : coxa, trochanter, fémur tibia et tarse différenciés. Le tarse est spatulé, sans griffe apicale, avec une touffe très dense de longues soies, de longueur croissante de P1 à P3.



Fig. 20 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 21). Il est transverse, faiblement trilobé, subsymétrique. Le lobe médian comporte six fortes soies externes et deux fortes soies internes. Le lobe latéral est formé, d'avant en arrière : de trois longues + quatre courtes et épaisses soies antérieures externes et trois longues soies plus une longue antérieure interne ; de soies latérales et latéro-postérieures disposées en une rangée de cinq soies externes (la première étant longue) et une rangée de quatre soies internes. On distingue également deux longues et fortes soies labro-internes, avec en arrière de chacune et plus proches de l'axe médian une paire de courtes soies rapprochées. Une vingtaine de longues soies postérieures forment une bande transverse allant d'un bord latéral à l'autre, disposées en deux rangées irrégulières de soies.

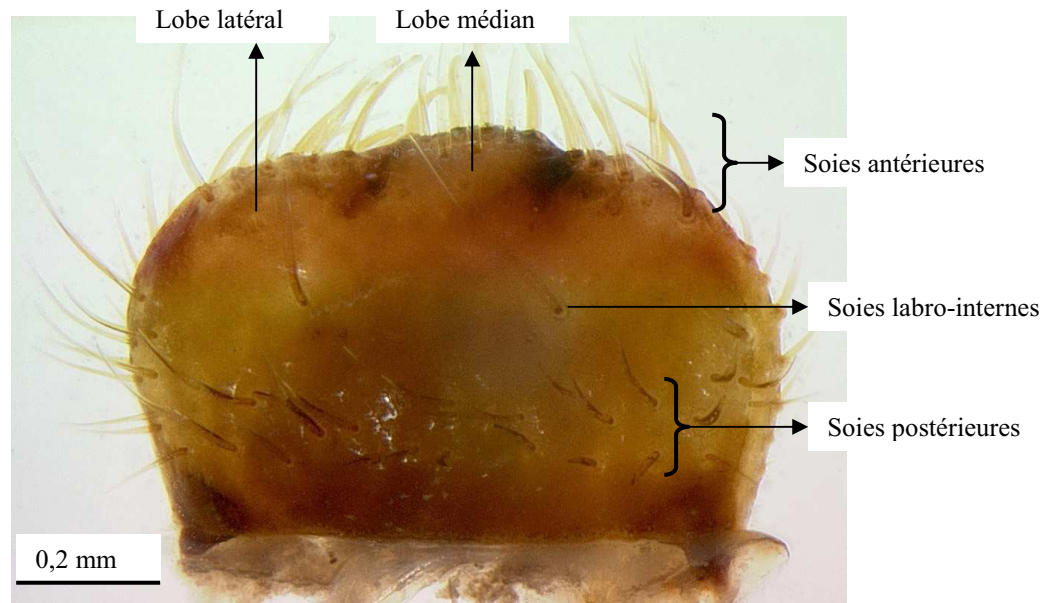


Fig. 21 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 22). L'haptomère est constitué d'une rangée transverse arquée de 12 courtes et fortes épines formant un peigne, avec postérieurement une rangée de quatre épines plus fortes. L'aire pédiale est formée de rares soies courtes, et est glabre au centre. Le chaetoparia est formé de rangées concentriques de soies longues et épaisses, nettement arquées vers l'avant, convergeant vers l'aire pédiale, avec de fines soies dispersées à la périphérie. L'acanthoparia est constitué de sept à neuf longues soies de taille croissante vers l'avant. Les clithra sont peu marqués mais présents.

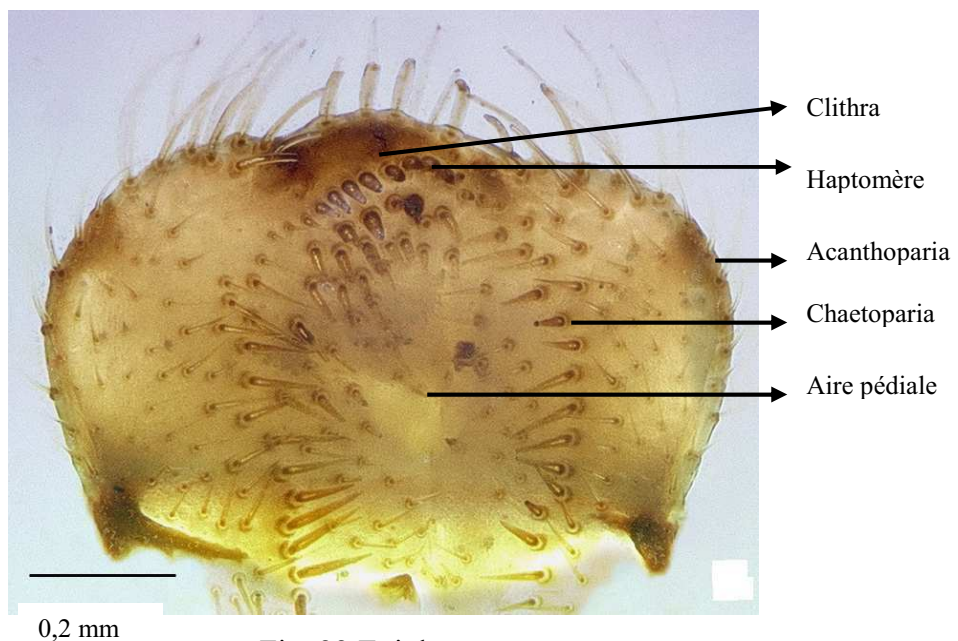


Fig. 22 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 23). Le raster est formé de palidia avec deux rangées longitudinales de 16 à 21 épines inclinées vers le septula et vers l'avant, convergeant à l'extrémité antérieure et divergeant à l'extrémité postérieure, avec une rupture de la courbe au tiers basal environ (formant ainsi le dessin d'un « fer de lance »). Le septula est glabre. Le teges est formé de courtes et de longues soies. La fente anale est transverse, faiblement arquée, proche de l'apex abdominal.

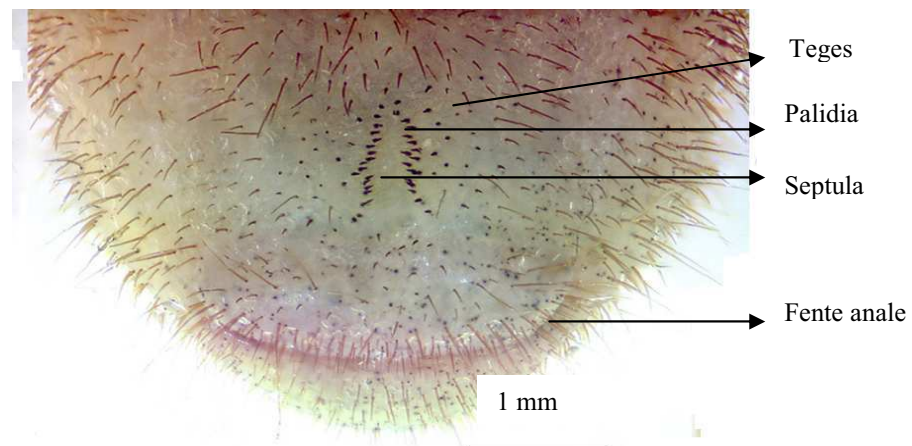


Fig. 23 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.3) *Anochilia bifida* (Olivier, 1789)

- Larve

Larve de couleur blanc ivoire, taille moyenne égale à 32 mm. La tête est brunâtre (Fig. 24). Les pattes sont courtes, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter, fémur tibia et tarse différenciés. Le tarse est court, fortement pigmenté, apex sclérifié avec une courte griffe



Fig. 24 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 25). . Il est transverse, trilobé, symétrique. Le lobe médian est formé de quatre fortes soies externes et quatre soies internes. Le lobe latéral comporte, d'avant en arrière, quatre soies antérieures externes et trois longues soies + une très longue soie antérieures internes, et une longue soie latérale. On distingue également deux longues soies labro-internes et dix à douze courtes soies postérieures (en deux groupes de cinq à six soies).

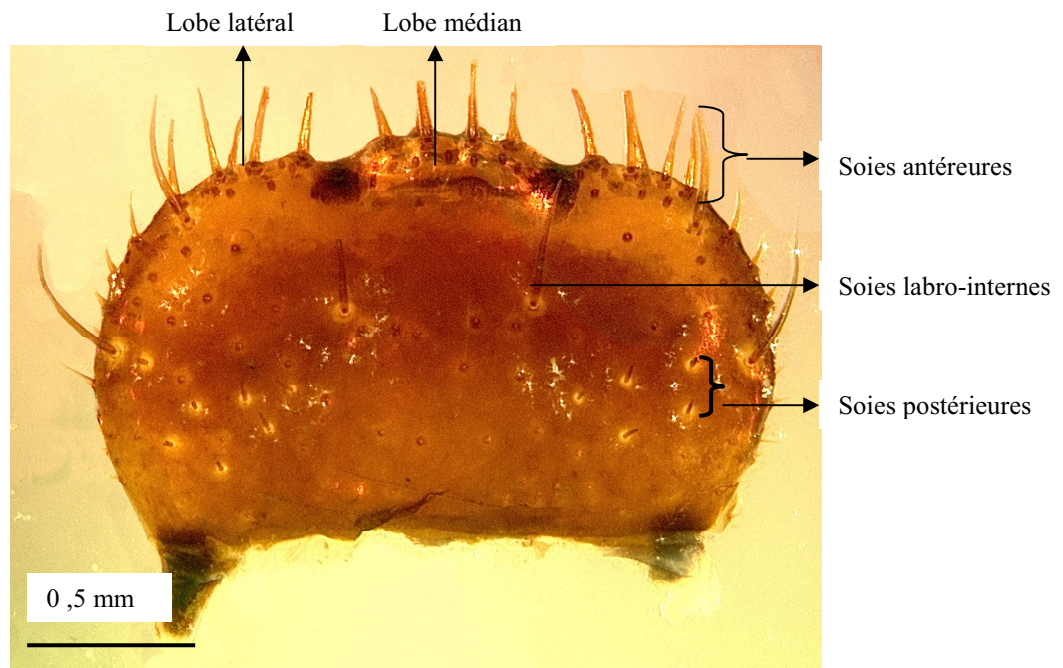


Fig. 25 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 26). L'haptomère est formé d'une rangée de 9 à 13 épines formant un peigne. L'aire pédiale est glabre. Le chaetoparia est dissymétrique, avec deux rangées concentriques de soies convergeant vers l'aire pédiale du côté gauche, les plus internes plus fortes, et avec de nombreuses soies épineuses non alignées, devenant plus petites vers l'intérieur du côté droit, avec de fines soies du côté externe. L'acanthoparia est formé de 8 à 11 soies de taille croissante vers l'avant. Les clithra sont bien marqués et la concavité est légèrement anguleuse.

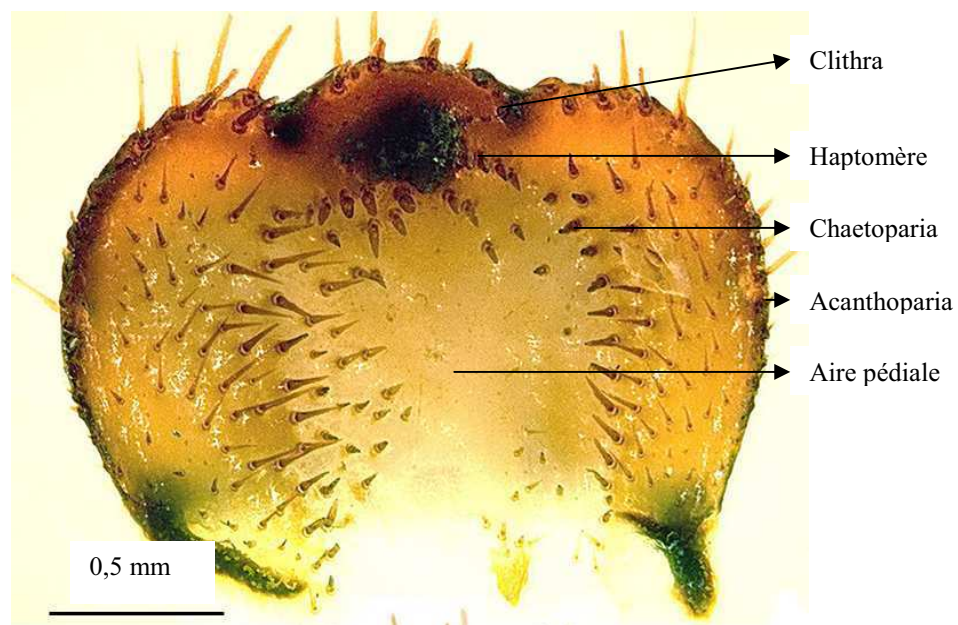


Fig. 26 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 27). Le raster présente des palidia formés de deux rangées subparallèles, très légèrement incurvées et divergeant vers l'arrière, constituées de 11 à 14 épines inclinées vers le septula et vers l'arrière. Le septula est glabre. De chaque côté de la partie antérieure des palidia, deux très longues soies, la plus interne en arrière, la plus externe en avant. Le teges est formé de soies courtes inclinées vers l'arrière. La fente anale est transverse, faiblement arquée, proche de l'apex abdominal.

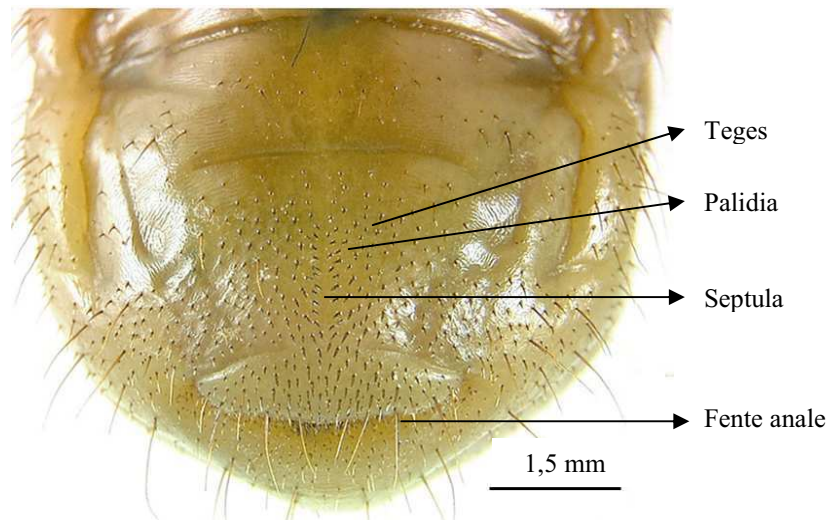


Fig. 27 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.4) *Euryomia argentea* (Olivier, 1789)

- Larve

Sa larve est de couleur blanc ivoire, de taille moyenne égale à 31 mm. La tête est brunâtre (Fig. 28). Les pattes sont courtes, toutes de structure analogue : coxa, trochanter, fémur tibia et tarse différenciés. Le tarse est allongé, pigmenté, apex avec une griffe sclérifiée aigüe.

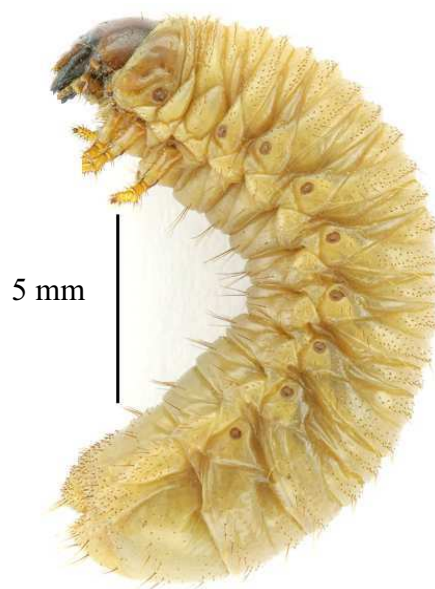


Fig 28 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 29). Il est transverse, faiblement trilobé, symétrique. Le lobe médian comprend cinq soies externes et deux soies internes. Le lobe latéral est formé, d'avant en arrière, de trois soies antérieures externes et quatre soies antérieures internes, la plus latérale longue, suivies de deux soies latérales, la première longue. On a aussi deux longues soies labro-internes et huit courtes soies postérieures (en deux groupes transverses de quatre soies).

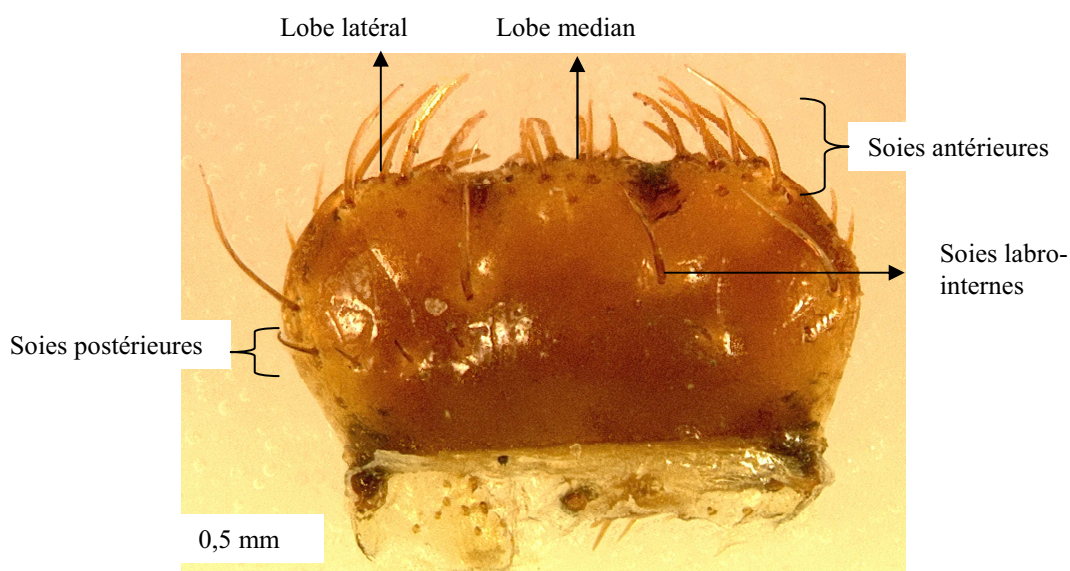


Fig. 29 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 30). L'haptomère est composé d'une rangée transverse faiblement arquée de fortes épines formant un peigne, plus courtes vers l'extérieur et plus longues dans la partie médiane. Le chaetoparia est formé des soies inclinées vers l'aire pédiale. L'aire pédiale est formé de courtes soies en arrière et deux rangées de trois et deux fortes soies en avant, de taille décroissante de l'intérieur vers l'extérieur et les acanthoparia de sept à neuf courtes soies de taille croissante vers l'avant. Les clithra sont anguleux et bien marqués.

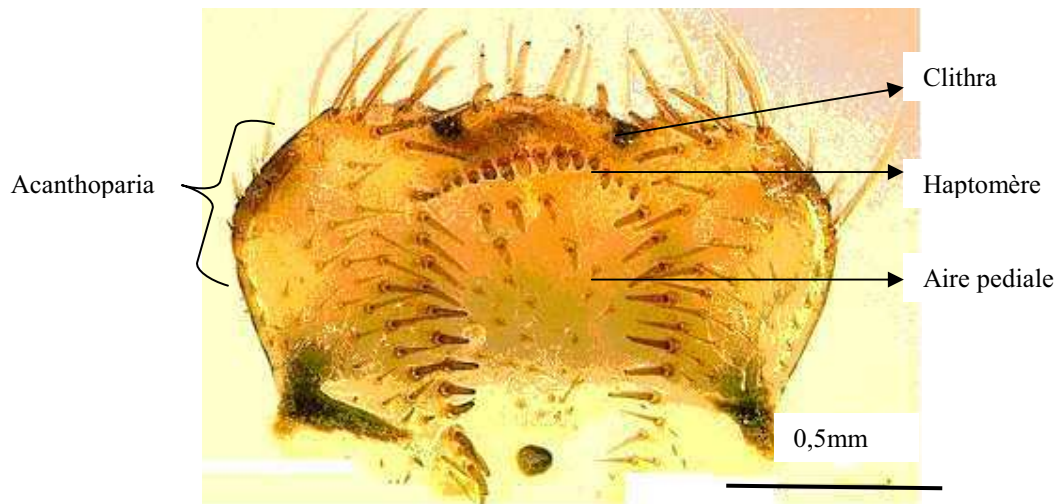


Fig. 30 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 31). Les palidia sont formés de deux rangées de 13 à 16 épines inclinées vers l'intérieur et vers l'arrière, formant une pointe en « ogive gothique » à l'extrémité antérieure. Le septula est glabre. Le teges est constitué de soies assez fortes de longueur moyenne, orientées vers l'arrière, souvent incurvées ; de chaque côté de la partie antérieure des palidia, deux très longues soies, la plus interne en arrière, la plus externe en avant. La fente anale transverse, faiblement arquée, proche de l'apex abdominal.

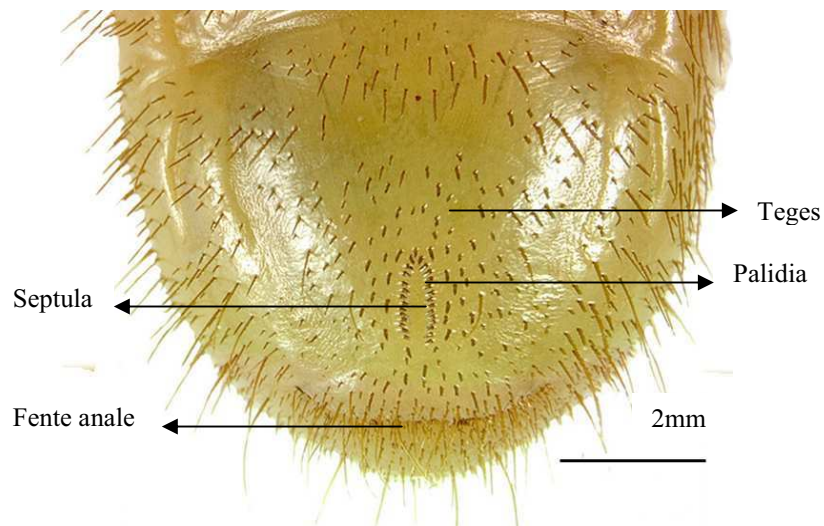


Fig. 31 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle est de couleur jaunâtre, de taille 14,65 mm. Le pronotum, latéralement concave, est deux fois plus large que long et le thorax plus large que l'abdomen. L'abdomen effilé présente des bords latéraux légèrement concaves. Le dernier segment abdominal a des bords arrondis. On distingue huit paires de stigmates abdominaux saillants, la première paire cachée sous les ptérothèques (Fig. 32).

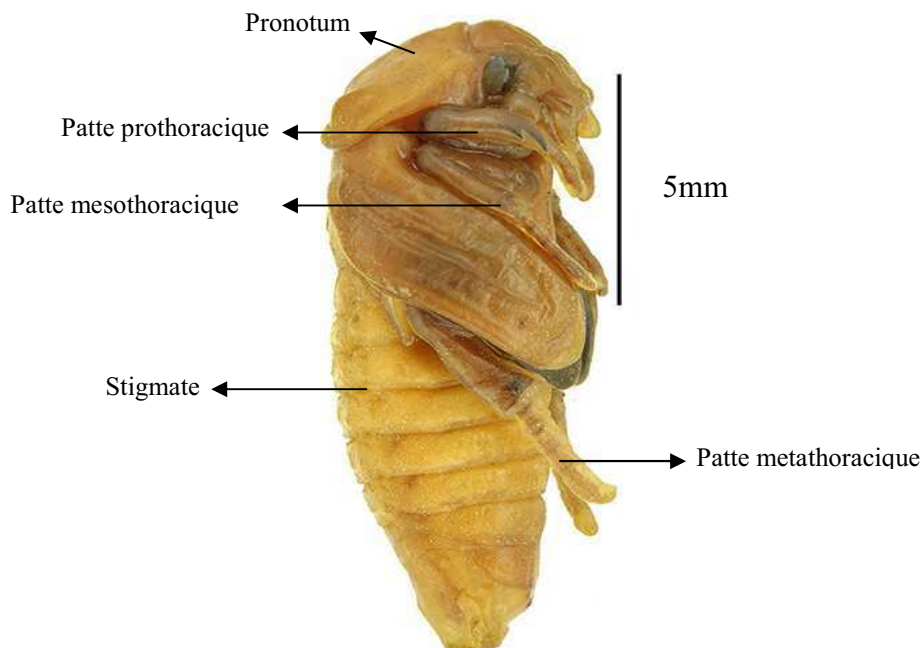


Fig. 32 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Parmi les Dynastidae les espèces suivantes ont pu être collectées

FAMILLE DYNASTIDAE

B.2.2.5) Heteronychus bituberculatus (Kolbe, 1900)

- Larve

La larve est de couleur blanche, de taille moyenne = 22,7 mm. La tête est jaunâtre (Fig. 33). Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter, fémur très allongé, tibiotarse, griffe forte, longue, aigüe, incurvée et sclérifiée à l'apex



Fig. 33 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 34). Il est transverse et asymétrique. La zone médiane du bord antérieur est saillante, formant presque un lobe médian différencié à droite, avec quatre soies antérieures et deux soies postérieures. De part et d'autre, on a deux soies latéro-antérieures externes et deux soies latéro-antérieures internes, puis une longue soie latérale. En avant du milieu, on observe deux longues soies labro-internes et quatre soies postérieures (en deux groupes transverses de deux soies).

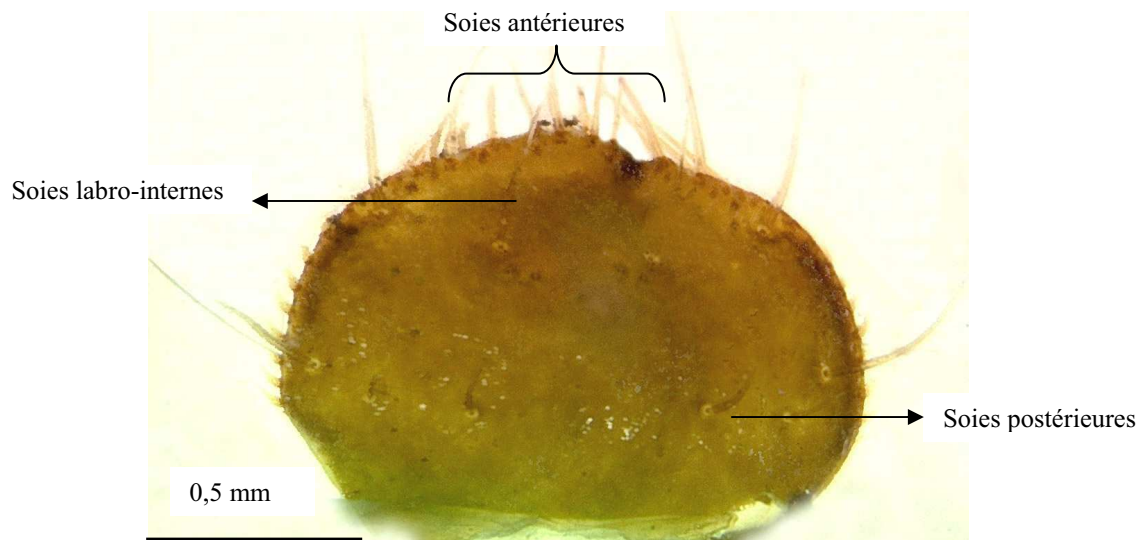


Fig.34 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 35). L'haptomère est transverse, sclérifié, pointu. L'aire pédiale est glabre. Le chaetoparia est dissymétrique, avec de une à cinq soies courtes et épaisses convergeant vers l'aire pédiale, qui est glabre. Les acanthoparia sont formés de 8 à 10 courtes soies lamelliformes incurvées vers l'avant. Le plegmatium et proplegmatium sont absents.

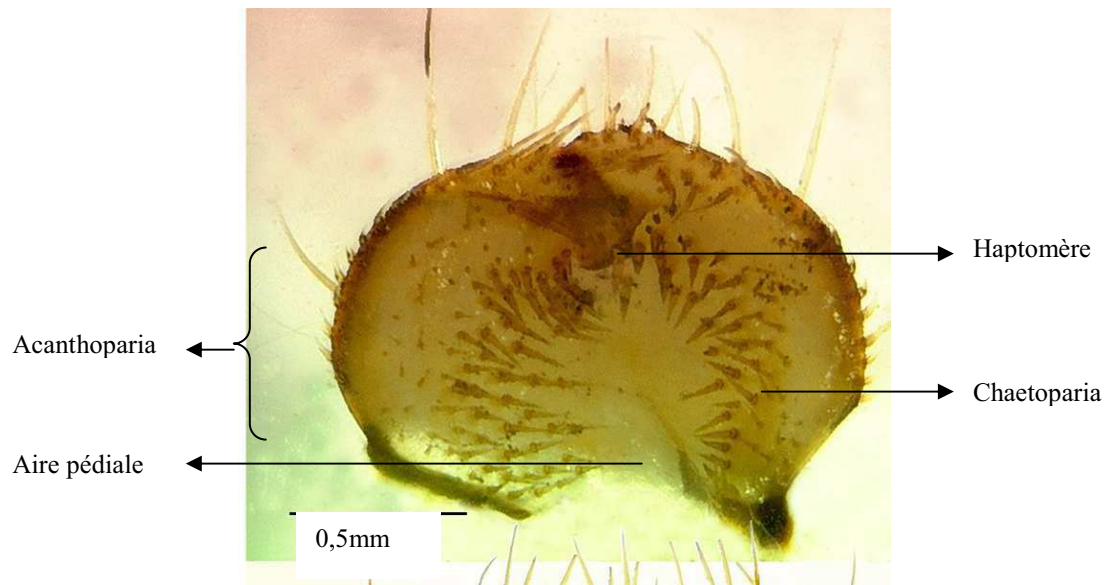


Fig. 35 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 36). La fente anale est transverse, éloignée de l'apex abdominal. Du côté dorsal de la fente anale, on a de très courtes et fortes soies inclinées vers l'apex constituant une plage continue transverse. Les soies du côté ventral de la fente anale sont plus longues, plus denses et plus fortes, de section cylindrique. Le teges est formé de fortes soies aplaties à l'apex incurvé. Le barbula comporte de longues et fines soies dispersées.

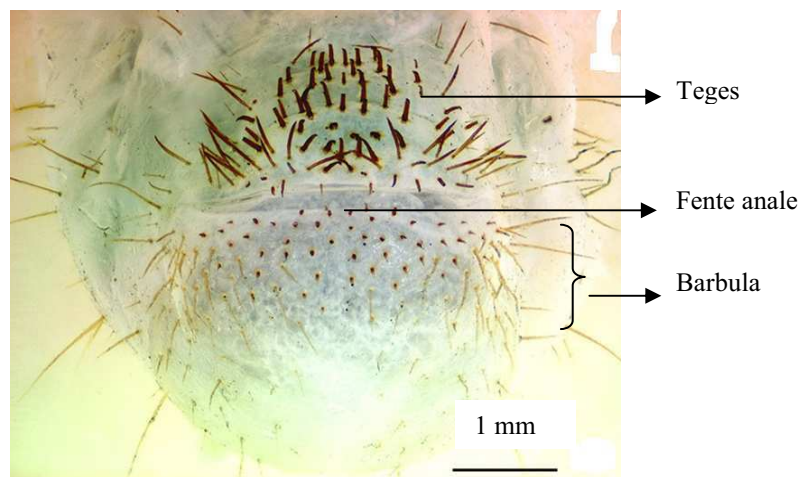


Fig. 36 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.6) Heteronychus plebeius (Klug, 1833)

- Larve

La larve est de couleur blanc ivoire, taille moyenne= 27,2 mm. La tête est jaunâtre sombre (Fig. 37). Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure

analogue : coxa, trochanter, fémur, tibiotarse, griffe forte, longue, aigüe, incurvée et sclérifiée à l'apex.

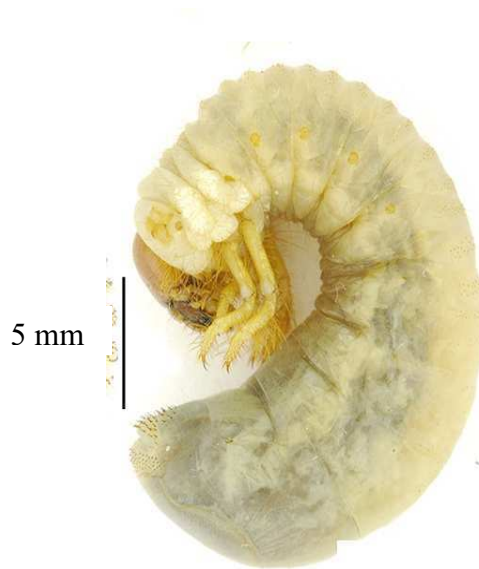


Fig. 37 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 38). Il est transverse et asymétrique. La zone médiane du bord antérieur peu saillante, forme à peine un lobe médian, légèrement différencié du côté droit, avec quatre soies antérieures externes et deux soies antérieures internes. De part et d'autre, on distingue trois soies latéro-antérieures externes et deux soies latéro-antérieures internes, puis une longue soie latérale. En avant du milieu, on a deux longues soies labro-internes et quatre soies postérieures (en deux groupes transverses de deux soies).

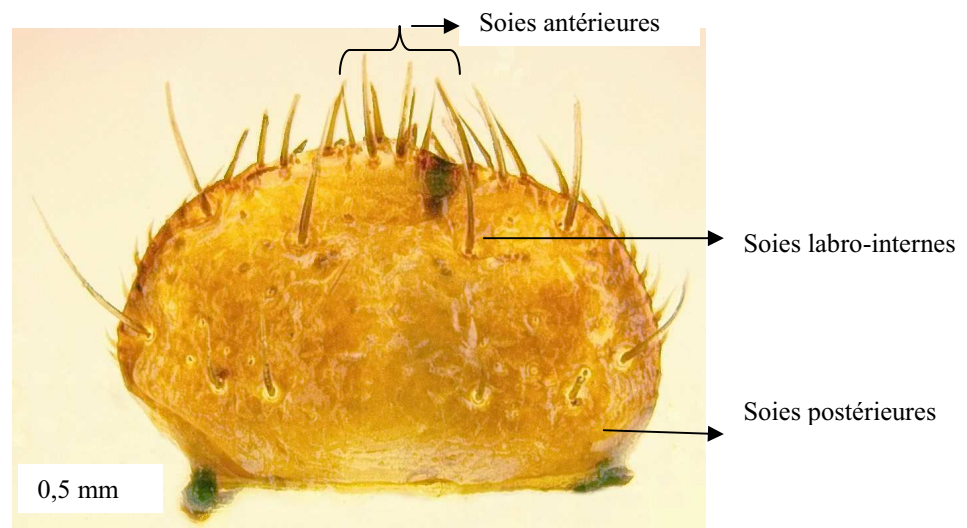


Fig. 38 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 39). L'haptomère forme une saillie sclérifiée redressée. L'aire pédiale glabre est traversée par un sillon sinueux. Le chaetoparia est dissymétrique à rangs concentriques de soies convergeant vers l'aire pédiale, plus épaisses en avant et à l'intérieur, plus fines à la périphérie. Les acanthoparia sont composés de 12 à 15 courtes soies lamelliformes incurvées vers l'avant. Le corypha est formé de soies épaisses.

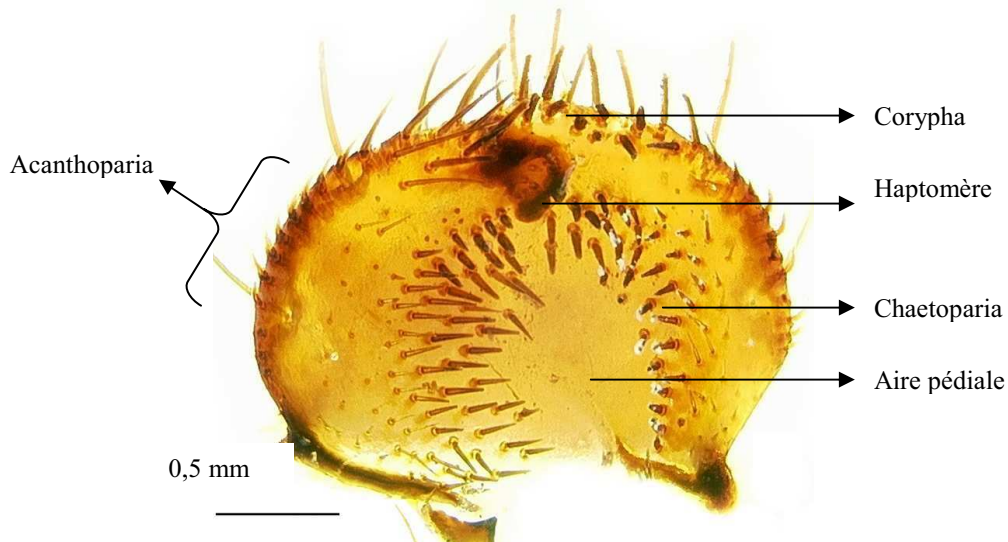


Fig. 39 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 40). La fente anale est transverse, légèrement incurvée, éloignée de l'apex abdominal. Du côté dorsal de la fente anale, on a des soies très courtes et légèrement incurvées, sans orientation préférentielle, peu nombreuses et dispersées. Le long du bord ventral de la fente anale, une rangée de longues et fortes soies dressées. Le teges est constitué d'épines plus grosses et plus longues que du côté dorsal, incurvées, orientées vers l'arrière. On n'a pas de bande glabre le long de la fente anale. Le barbula est constitué de longues soies dispersées.

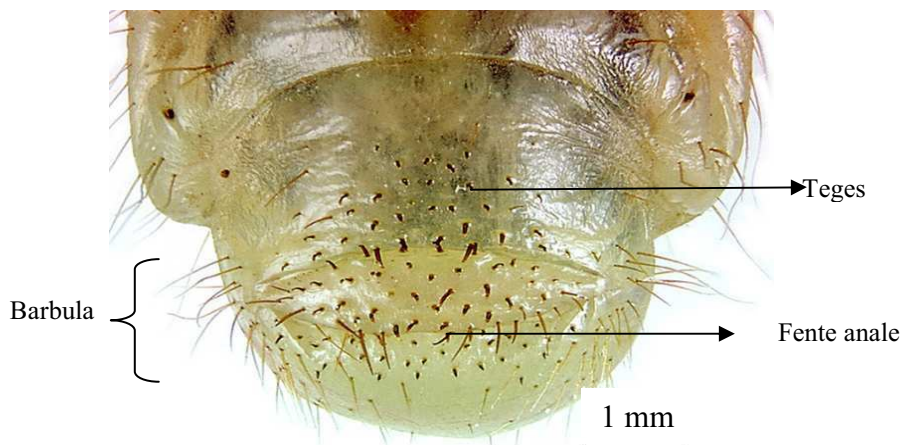


Fig. 40 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Nymphe

Elle est de couleur jaunâtre, taille moyenne 20 mm (Fig. 41). Le pronotum arrondi est deux fois plus large que long. Le thorax est aussi large que l'abdomen. On distingue quatre paires de stigmates abdominaux ovales à bords sclérifiés, la première paire cachée dans une cavité sous les ptérothèques. Par ailleurs, on a cinq paires de lèvres incurvées sclérifiées, la première plus petite que les suivantes, formant dix cavités disposées de part et d'autre de la ligne médiane, situées entre les tergites visibles I/II, II/III, III/IV, IV/V et V/VI. Le dernier segment abdominal comporte un apex bifide aigu formé de deux lobes espacés. Chaque lobe est couvert d'une touffe dense de poils dressés.

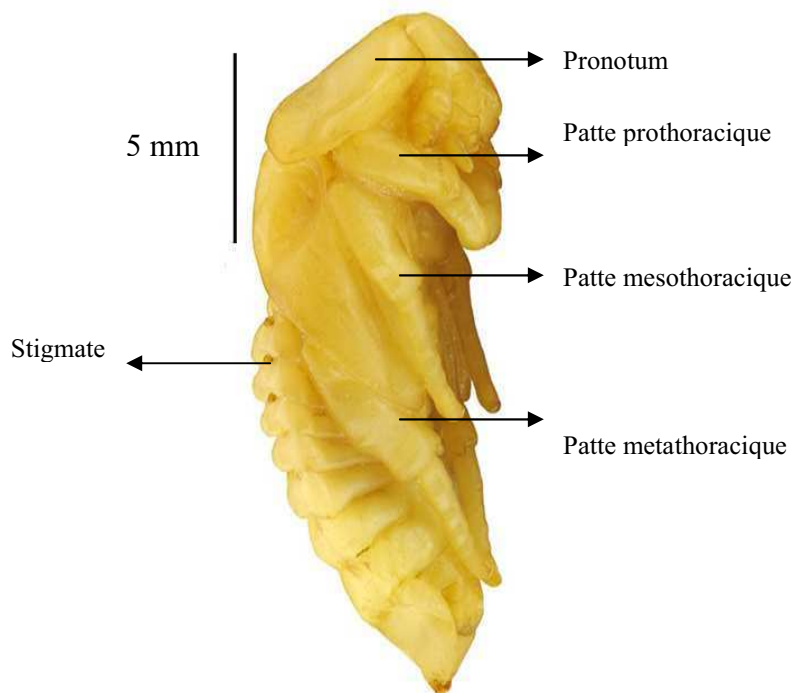


Fig. 41 Habitus
(Source : R.Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.7) Hexodon unicolor unicolor (Olivier, 1789)

- Larve

La larve est de couleur blanc ivoire et de taille 36,7 mm. La tête est brunâtre (Fig. 42). Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter, fémur, tibiotarse, griffe forte, longue, aigüe, anguleuse à la base, incurvée et sclérifiée à l'apex.



Fig. 42 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 43). Il est transverse et asymétrique. La zone médiane du bord antérieur un peu saillante, forme presque un lobe médian, légèrement différencié du côté droit, avec quatre soies antérieures externes et deux soies antérieures internes écartées. De part et d'autre, on a une soie latéro-antérieure externe, deux soies latéro-antérieures internes, puis une longue soie latérale. On observe également deux longues soies labro-internes et quatre soies postérieures (en deux groupes transverses de deux soies).

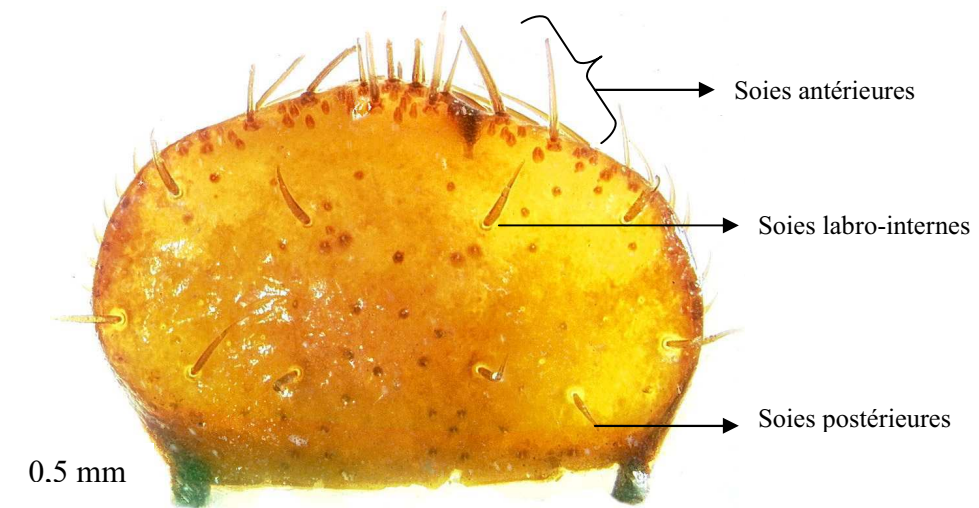


Fig. 43 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 44). L'haptomère forme une saillie redressée bifide, sclérifiée et émoussée. L'acroparia est formé de fortes soies et l'aire pédiatale est glabre, avec un sillon anguleux, en arc de cercle vers la base. Le chaetoparia est dissymétrique à rangs concentriques de soies

convergeant vers l'aire pédiale, plus fortes près de l'haptomère et sur la périphérie de l'aire pédiale, plus fines vers l'extérieur. Les acanthoparia sont formés de six à neuf courtes soies lamelliformes incurvées vers l'avant.

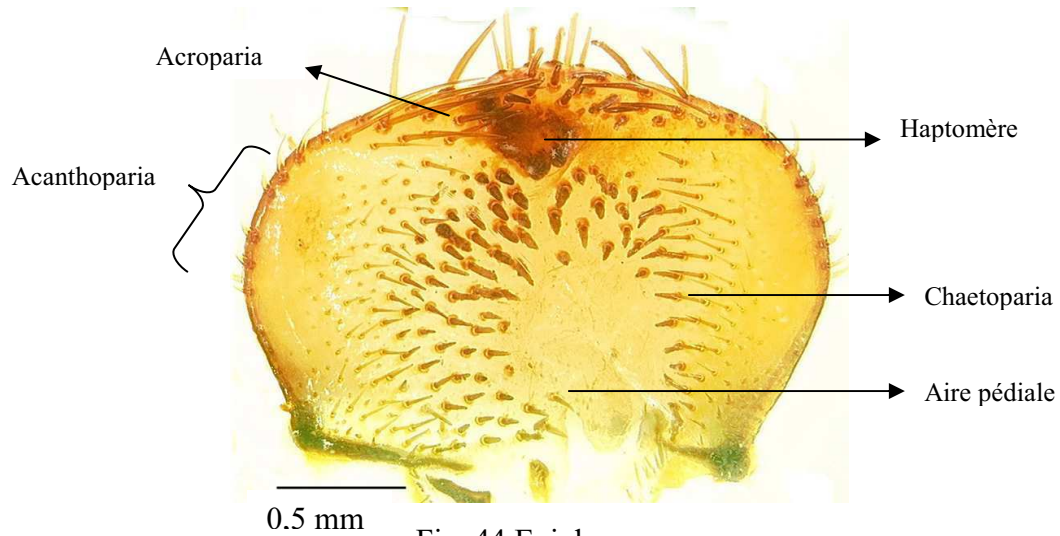


Fig. 44 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 45). Du côté dorsal de la fente anale transverse, on a de nombreuses soies courtes et épaisses, orientées vers l'avant, mêlées de quelques longues soies plus fines. Le long de la fente anale du côté dorsal, on a une étroite bande glabre. Le teges comporte de nombreuses et très épaisses soies aplaties et recourbées à l'extrémité du côté ventral de la fente anale. Le barbula est constitué de rares et longues soies.

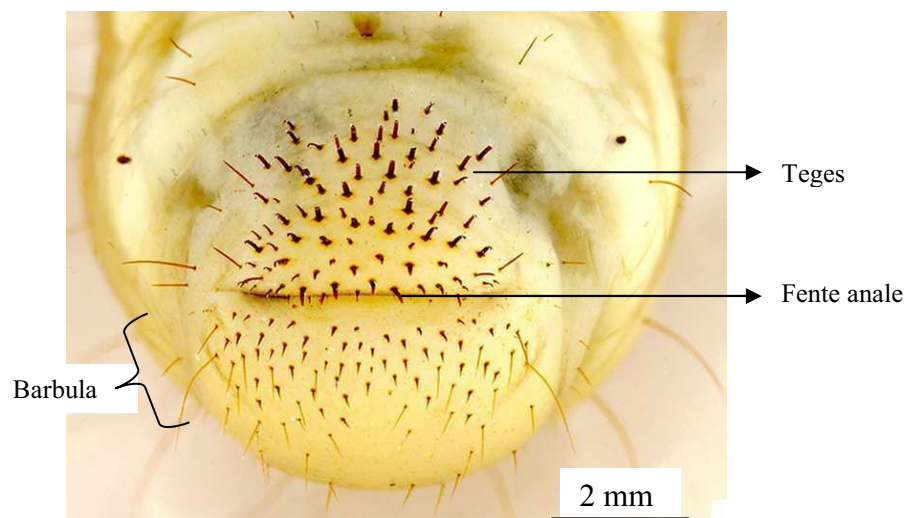


Fig. 45 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle est de couleur jaunâtre, taille moyenne= 24 mm (Fig. 46). Le pronotum en forme de croissant de lune est deux fois plus large que long. Les bords latéraux sont nettement saillants et se terminent en une pointe émoussée. L'abdomen est fusiforme. La première paire de stigmates abdominaux est cachée dans une cavité sous les ptérothèques et le bord latéral du premier tergite visible. On a trois paires de stigmates saillants à bords sclérifiés sur les tergites II-IV ; quatre paires de stigmates vestigiaux sur les tergites V-VIII. De part et d'autre de la ligne médiane, situées entre les tergites visibles I/II, II/III, III/IV, IV/V et V/VI, on a cinq paires de lèvres incurvées sclérifiées, la dernière plus petite que les précédentes, formant dix cavités.

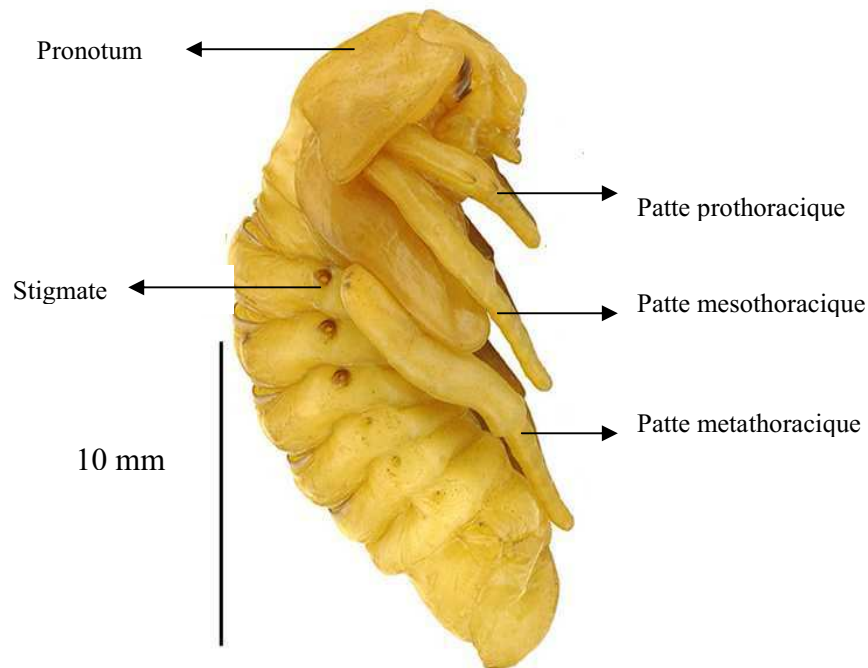


Fig. 46 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.8) Heteroconus paradoxus (Endrödi, 1968)

- Larve

La larve est de couleur blanc ivoire, avec une taille moyenne= 31,5 mm (Fig. 47). La tête présente une coloration brun jaunâtre. Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à

P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter, fémur, tibiotarse, griffe longue, aigüe, incurvée et sclérifiée à l'apex. La coxa 3 est très longue.



Fig. 47 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 48). Il est transverse et asymétrique et comporte de longues soies. La zone médiane du bord antérieur saillante, forme presque un lobe médian, légèrement différencié du côté droit, avec quatre soies antérieures externes et deux soies antérieures internes rapprochées. De part et d'autre, on a trois à quatre soies latéro-antérieures externes, une à deux soies latéro-antérieures internes, puis une soie latérale. En avant du milieu, on a deux longues soies labro-internes et une rangée irrégulière de quinze soies postérieures en deux groupes de huit et sept, la zone centrale étant glabre.

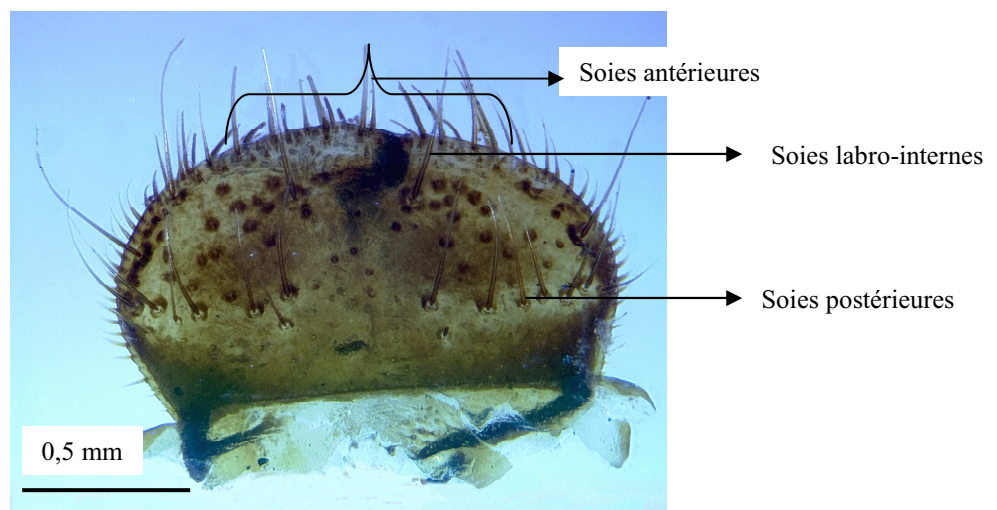


Fig. 48 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 498) L'haptomère forme une saillie redressée sclérifiée arrondie. L'acroparia est formé de fortes soies très denses. L'aire pédiale glabre présente un sillon anguleux, en arc de cercle vers la base. Le chaetoparia est dissymétrique, à longues et fortes soies convergeant vers l'aire pédiale, les plus fortes soies étant à proximité de l'haptomère. Les acanthoparia sont formés de 21 à 22 soies lamelliformes, de taille croissante, incurvées vers l'avant.

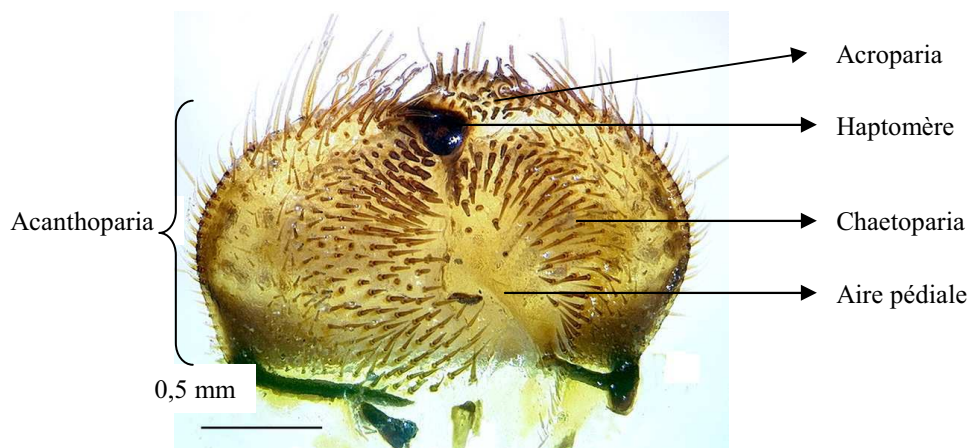


Fig. 49 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 50). La fente anale est transverse. On observe une étroite bande glabre le long du côté dorsal de la fente anale. Le côté dorsal de la fente anale présente de nombreuses soies courtes et épaisses avec quelques très longues soies fines. Du côté ventral de la fente anale on a six longues soies. Le teges comporte plus d'une trentaine de très fortes soies recourbées et aplaties.

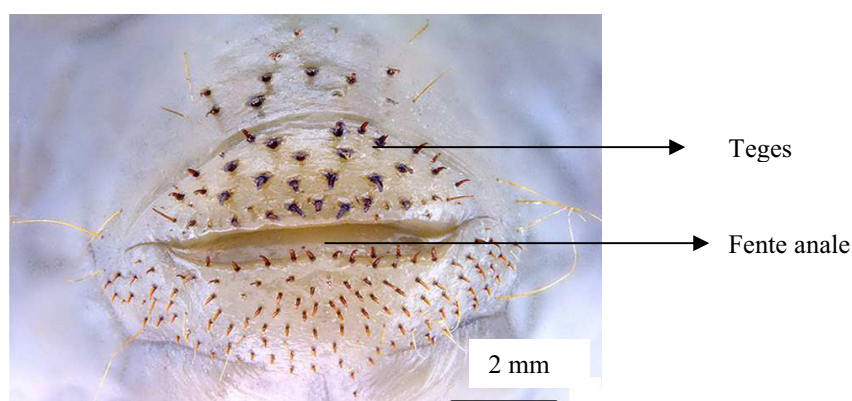


Fig. 50 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle est de couleur jaune-brunâtre, taille moyenne= 20,5 mm (Fig. 51). Le pronotum régulièrement arrondi est deux fois plus large que long. Le thorax est aussi large que

l'abdomen. Les quatre paires de stigmates abdominaux circulaires ont des bords sclérifiés, la première paire cachée dans une cavité sous les ptérothèques et un repli latéral du premier tergite visible. De part et d'autre de la ligne médiane, situées entre les tergites visibles I/II, II/III, III/IV, IV/V et V/V, on a cinq paires de lèvres incurvées sclérifiées de taille croissante d'avant en arrière, formant dix cavités.

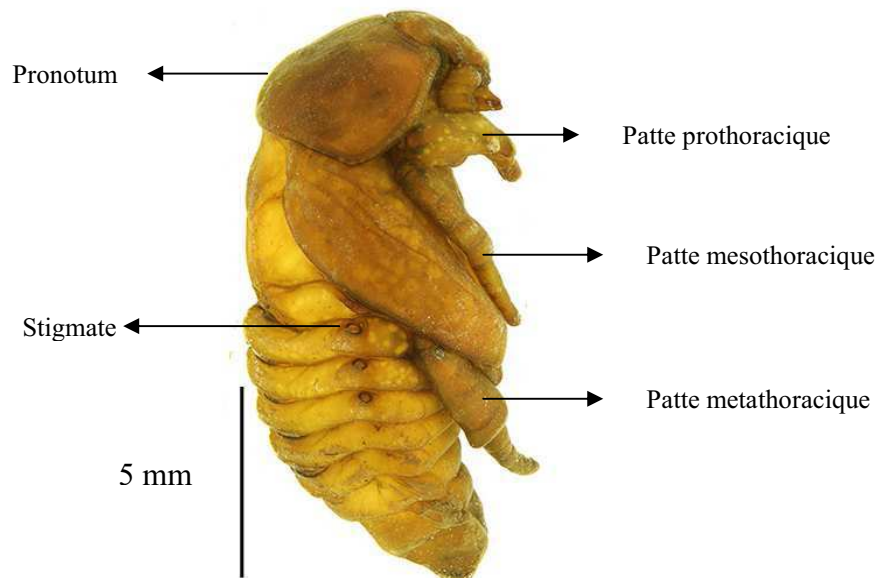


Fig. 51 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.9) *Paranodon coquerelii* (Fairmaire, 1871)

- Larve

La larve est de couleur blanche, de taille 24,7 mm (Fig. 52). Sa tête est de couleur jaune. Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter, fémur, tibiotarse, griffe longue, aigüe, incurvée, sclérifiée.



Fig. 52 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 53). Il est transverse, asymétrique, avec de longues soies. La zone médiane du bord antérieur non-saillante, différenciée du côté droit, est formée de quatre soies antérieures externes et deux soies antérieures internes rapprochées. De part et d'autre, on a cinq soies latéro-antérieures externes et deux soies latéro-antérieures internes, puis une soie latérale. En avant du milieu, on a deux longues soies labro-internes et une rangée transverse de sept soies postérieures en deux groupes de quatre et trois soies, la zone centrale étant glabre.

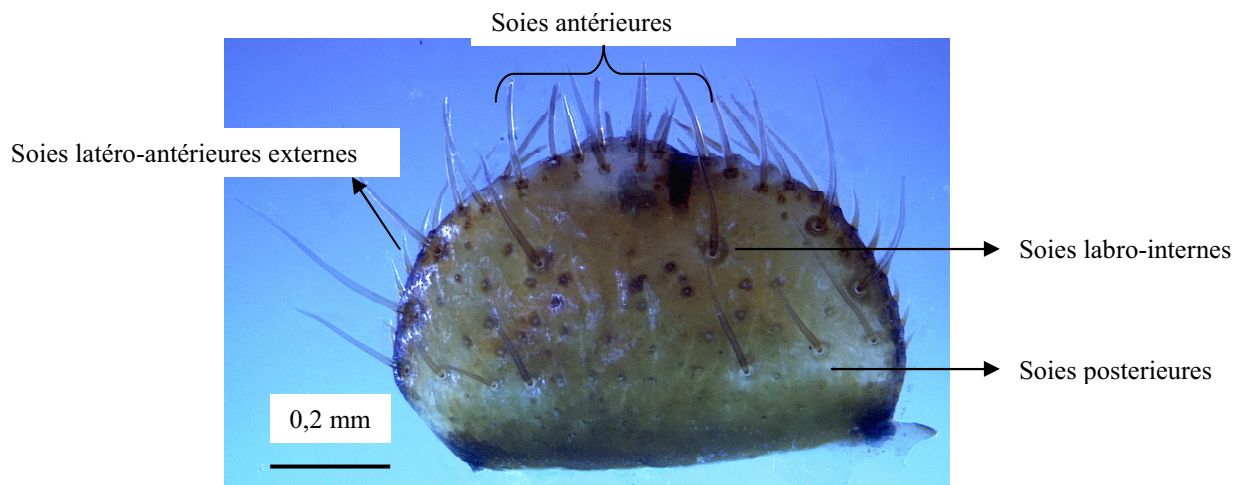


Fig. 53 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 54) L'haptomère présente un bord relevé sclérifié et émoussé. Le clithrum est sclérifié. L'aire pédiale très petite, est glabre. Le chaetoparia est dissymétrique, à fortes soies épaisses convergeant vers l'aire pédiale. Les acanthoparia sont formés de 9 courtes soies incurvées lamelliformes, de taille croissante vers l'avant.

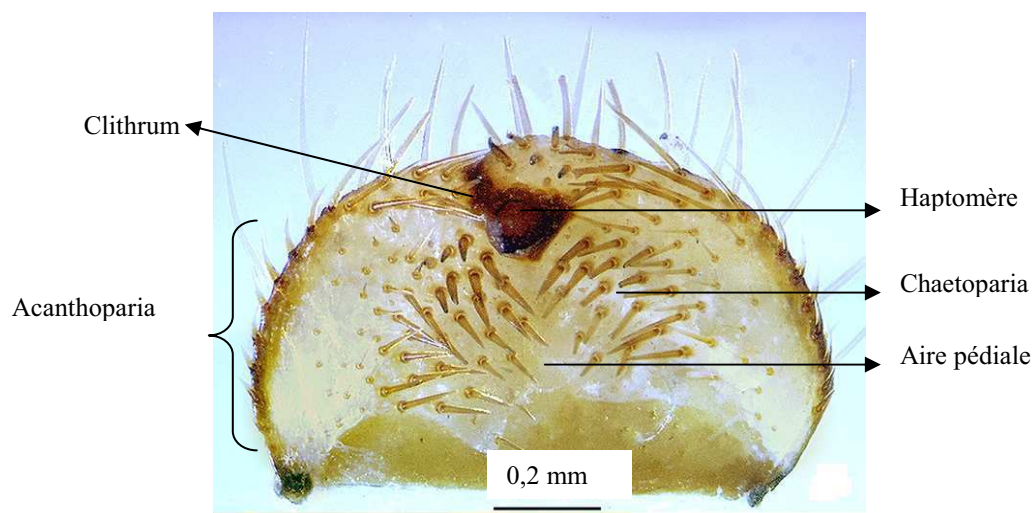


Fig. 54 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 55) La fente anale est transverse et comporte une bande glabre du côté dorsal et une rangée de longues soies du côté ventral. La barbula est composée de nombreuses longues soies fines. Le teges est constitué d'une trentaine de soies épaisses, aplaties et incurvées, avec de chaque côté une très forte et épaisse épine dissymétrique (trifide ou bifide du côté gauche et bifide ou simple du côté droit), séparées par une zone glabre.

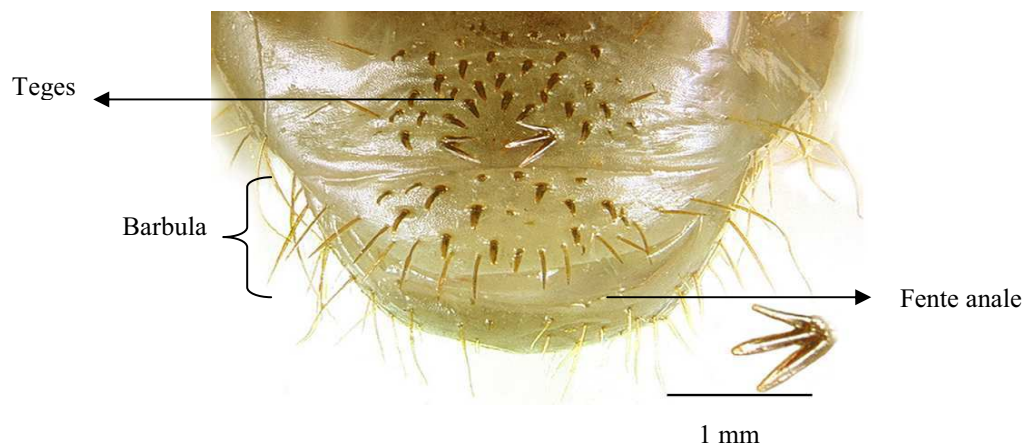


Fig. 55 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle est de couleur jaune-brunâtre, taille moyenne= 17 mm (Fig. 56). Le Pronotum de forme arrondi est deux fois plus large que long, dépassant légèrement le thorax. Le thorax est aussi large que l'abdomen. On distingue quatre paires de stigmates abdominaux ovales à bords sclérifiés, la première paire de plus petite taille, cachée dans une cavité sous les ptérothèques et un repli latéral du premier tergite visible. Par ailleurs, on observe cinq paires de lèvres incurvées sclérifiées formant dix cavités disposées de part et d'autre de la ligne médiane, situées entre les tergites visibles I/II, II/III, III/IV, IV/V et V/VI, la première paire moins large que les suivantes et avec un épaissement sclérifié vers l'avant. Sur la face dorsale de l'apex abdominal, on a deux petits lobes hémisphériques accolés.

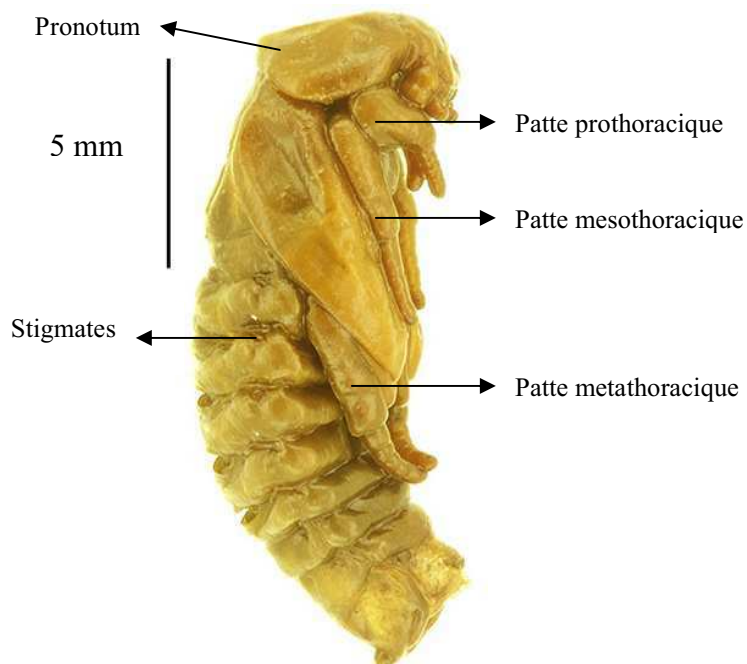


Fig. 56 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

FAMILLE HOPLIIDAE

B.2.2.10) Paramorphochelus cornutus (Nonfried, 1892)

- Larve

La larve est de couleur blanche et mesure 10,75 mm. La tête est de couleur jaune (Fig. 57). Les pattes sont longues, de taille croissante de P1 à P3. La coxa est très allongée à apex

arrondi et le trochanter est inséré latéralement sur la coxa. Le fémur et le tibiotarse comportent de fortes soies mêlées à de longues soies à l'apex. Le tibiotarse 3 est plus court, plus large et plus arrondi que les deux précédents, sans griffe. L'apex du tibiotase 1 est formé d'une griffe sclérifiée large à la base, et terminée par une longue pointe aigüe. L'apex du tibiotase 2 présente une griffe sclérifiée plus courte que la précédente, large et anguleuse à la base, terminée en pointe.



Fig. 57 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 58). Il est transverse, symétrique, faiblement trilobé. Le lobe médian est formé de six soies insérées chacune sur une protubérance pigmentée, les deux protubérances médianes accolées, presque fusionnées. Le lobe latéral est constitué de deux soies externes et deux soies internes, insérées chacune sur une protubérance pigmentée. On a également une soie dans la partie latéro-antérieure et une soie latérale. En avant du milieu, on distingue deux longues soies labro-internes et la présence d'une rangée transverse irrégulière de quatre à cinq soies postérieures.

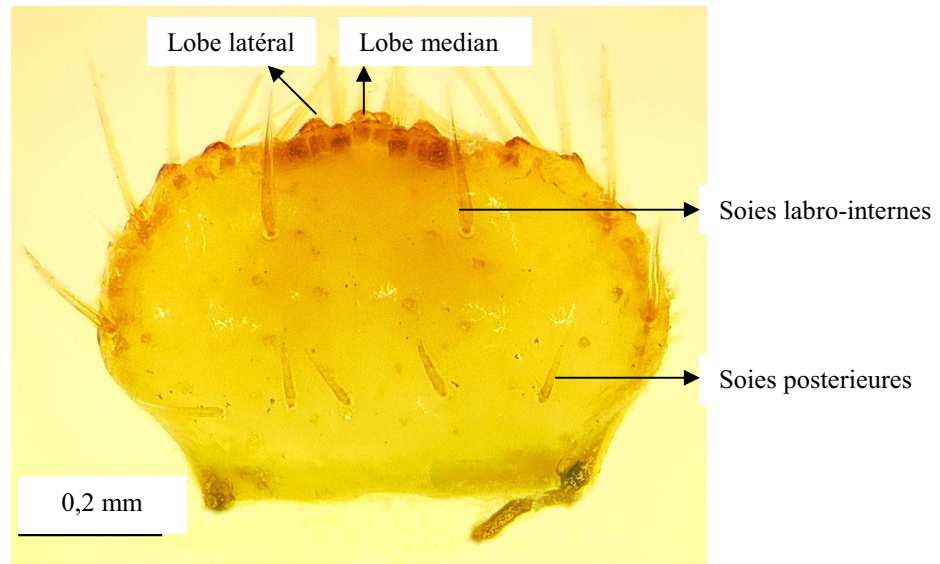


Fig. 58 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 59). L'haptomère est formé par 9 à 11 fortes épines disposées en fer à cheval. L'aire pédiale est large et glabre. Le chaetoparia est dissymétrique et les soies convergent vers l'aire pédiale. Les gymnoparia sont très larges. L'acanthoparia est constitué de six à neuf courtes soies lamelliformes incurvées vers l'avant.

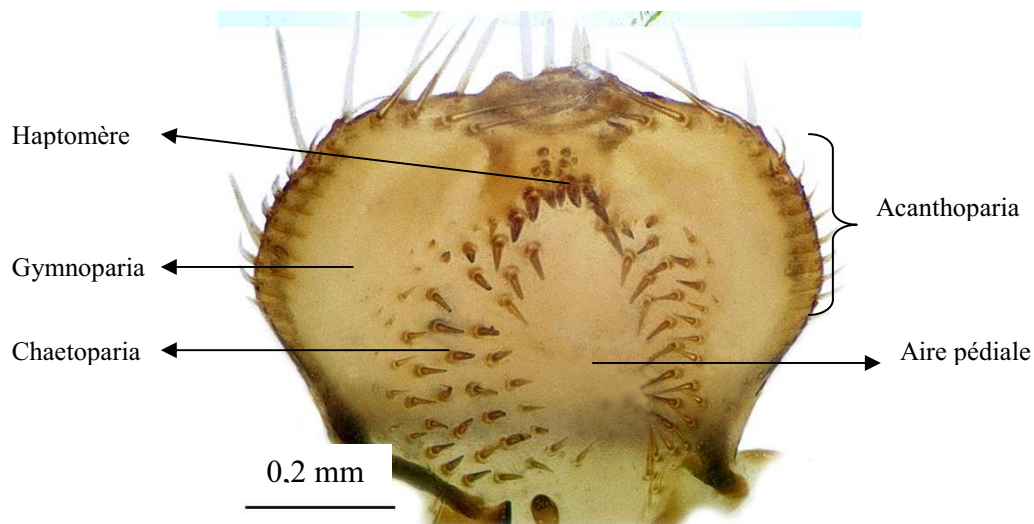


Fig. 59 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 60) La fente anale en "Y" présente tout le long de son côté dorsal comme du côté ventral de courtes soies mêlées à d'autres qui sont plus longues. Le teges est formé d'une quarantaine de fortes soies aplaties incurvées à l'apex. La barbula est formée de longues soies très denses.

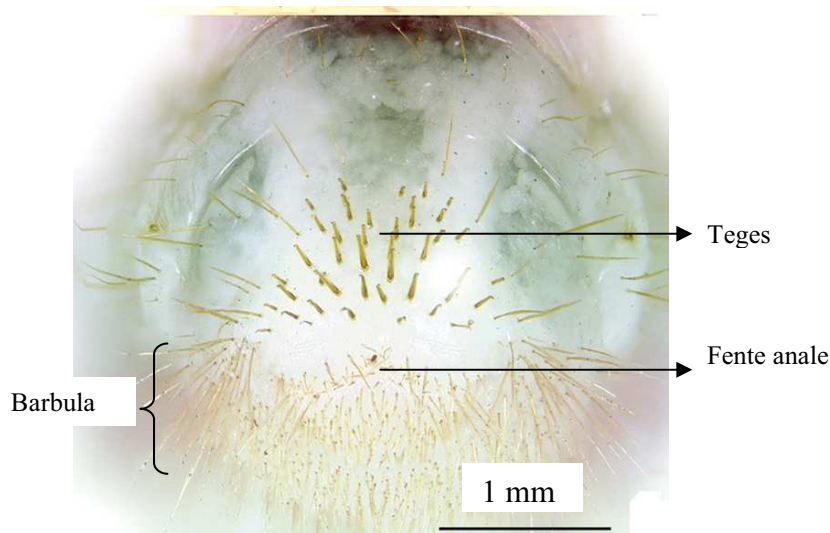


Fig. 60 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle est de couleur jaunâtre, taille 8,75 mm (Fig. 61). Sa silhouette est trapue et les côtés sont subparallèles. Le pronotum est bien plus large que long, à bords latéraux anguleux saillants vers l'avant. Les pattes postérieures sont très longues, repliées au niveau de l'apex abdominal. La première paire de stigmates abdominaux sont ronds et de petite taille cachés sous les ptérothèques. Sur les tergites II-IV on a trois paires de stigmates en relief; trois paires de stigmates vestigiaux sous forme de micro-reliefs sur les tergites V-VII et une paire de stigmates vestigiaux formant un relief plus saillant que les trois paires précédentes sur le tergite VIII. Vers l'arrière sur la ligne médiane des tergites abdominaux visibles II à VI, on observe de fortes épines sclérifiées incurvées. L'apex abdominal est formé de deux crochets pointus et sclérifiés, très écartés et incurvés vers l'intérieur.

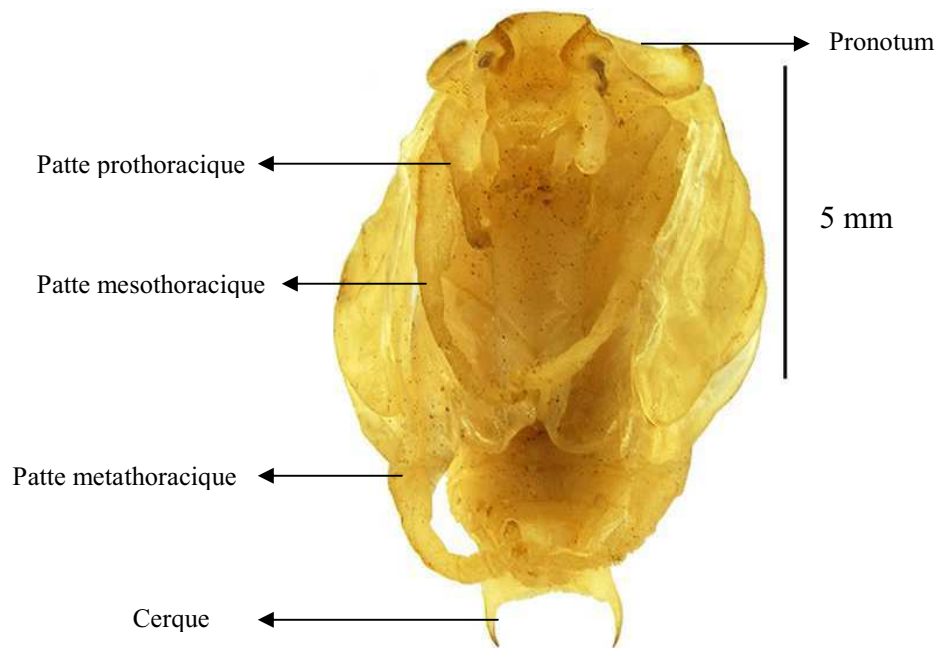


Fig. 61 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

FAMILLE MELOLONTHIDAE

B.2.2.11) *Encya sikorai* (Brenske, 1891)

- Larve

Sa couleur est blanc laiteux, de taille moyenne= 28,75 mm. La tête est brun jaunâtre (Fig. 62). Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter inséré latéralement sur la coxa, fémur, tibiotarse. Les pattes P1 et P2 ont une griffe très longue, très forte à la base, incurvée, sclérifiée à l'apex tandis que la P3 a une griffe très courte, plus large que longue, sclérifiée sur une étroite bande apicale, portant deux longues soies.

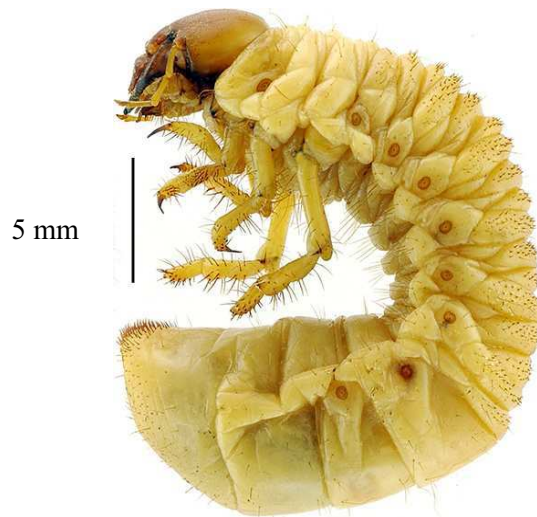


Fig. 62 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 63). Il est un peu plus large que long, symétrique. La zone médiane du bord antérieur est nettement saillante, avec deux soies externes rapprochées et quatre soies internes. On a également deux à trois soies latéro-antérieures et une soie latérale et deux soies labro-internes.

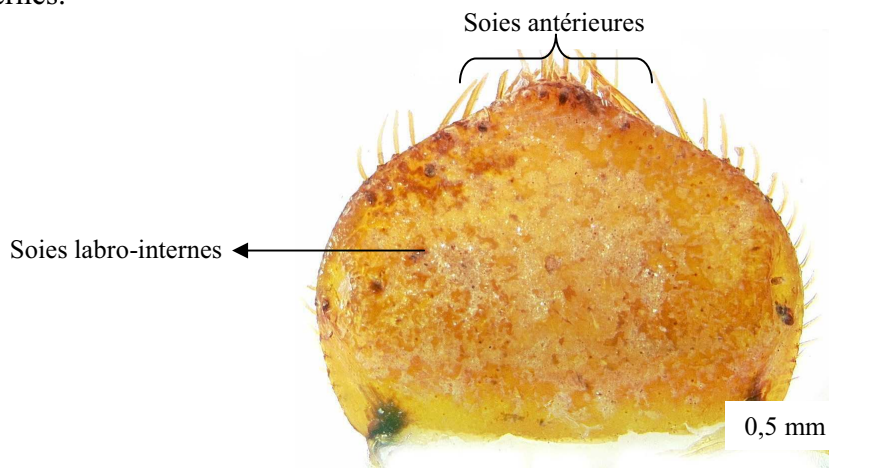


Fig. 63 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 64) L'haptomère est constitué d'un groupe de fortes épines très sclérifiées, subégales. L'aire pédiàle est glabre. Le proplegmatum est très développé, rétréci vers l'avant, formé de 12 à 15 bourrelets parallèles. Le plegmatum est présent. Les acanthoparia sont formés de 13 à 16 courtes soies lamelliformes de taille croissante vers l'avant. Le dexiophobe est constitué d'une rangée de courtes soies parallèles et le laeophobe d'une rangée de soies parallèles un peu plus longues. Le chaetoparia est asymétrique, à rangs concentriques

d'épaisses et fortes soies à l'avant, plus fines et courtes à l'arrière, plus fortes du côté du dexiophobe, plus fines et allongées du côté du laeophobe, convergeant vers l'aire pédiale.

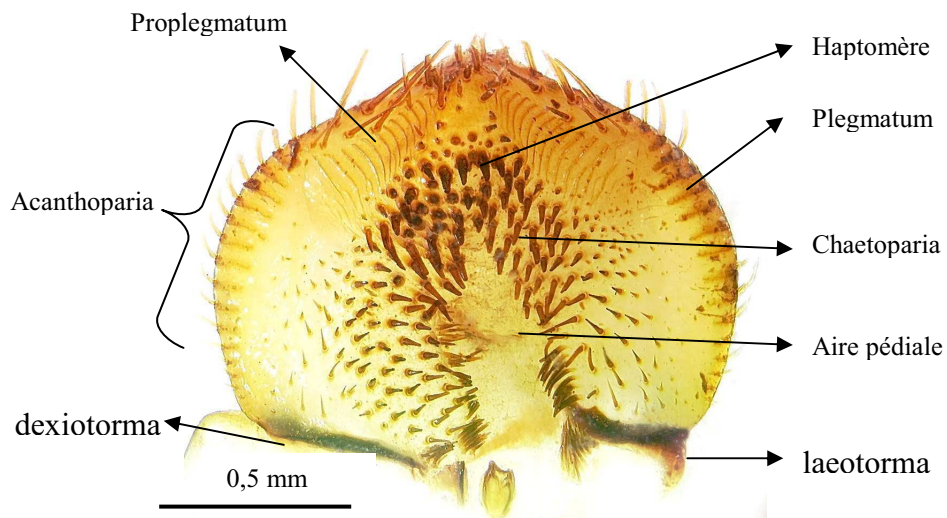


Fig. 64 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 65) La fente anale en "Y" est bordée de soies des deux côtés. Les palidia sont formés de deux groupes de fortes soies, enchevêtrées et orientées vers la septula, qui est glabre. Les teges périphériques étroits, sont constitués de courtes soies recourbées. La barbula est constituée de longues soies.

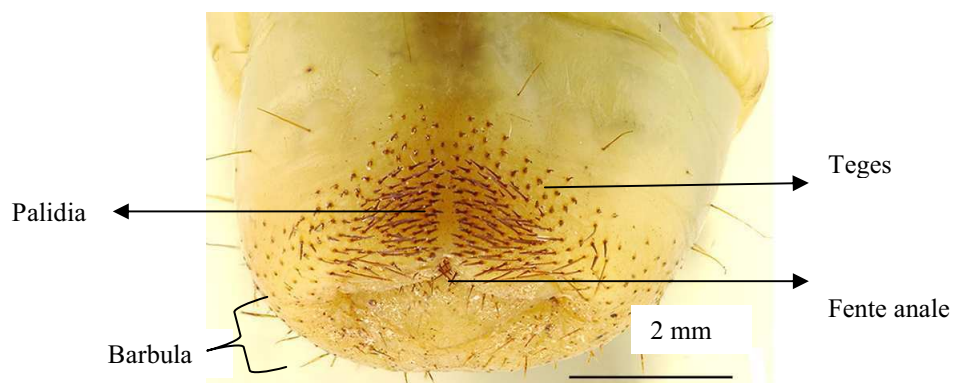


Fig. 65 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle a une couleur jaune nuancée de brun-rougeâtre, taille moyenne= 24 mm (Fig. 66). Le pronotum est nettement plus large que long. La première paire de stigmates abdominaux est cachée sous les ptérothèques et le bord latéral du premier tergite visible. Les trois paires suivantes sont très sclérifiées sur les tergites II-IV. Sur les tergites V-VI, les deux paires de stigmates sont effacés et on a deux paires de stigmates vestigiaux sur les tergites VII-VIII.

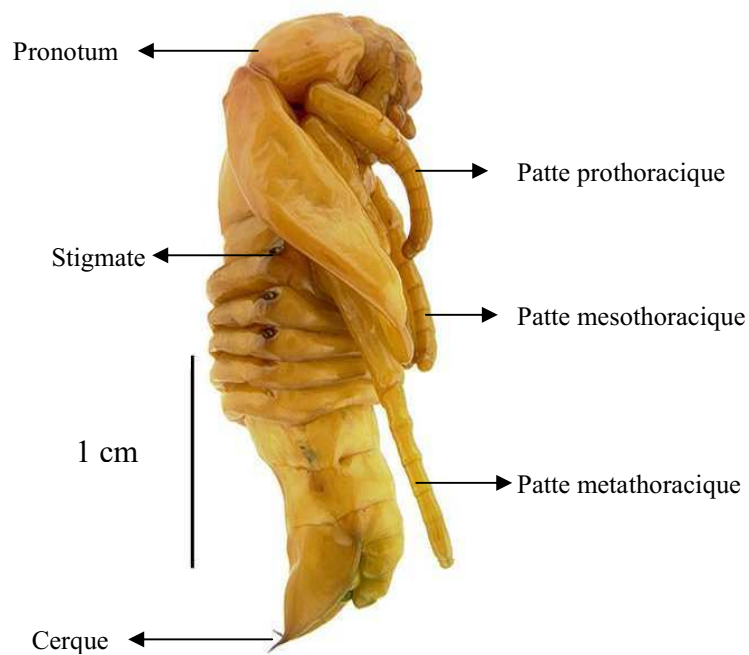


Fig. 66 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.12) *Enaria melanictera* (Klug, 1833)

- Larve

La larve est de couleur blanche et de taille moyenne 24,25 mm. La tête est jaunâtre (Fig. 67). Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter inséré latéralement sur la coxa, fémur, tibiotarse. Les pattes P1 et P2 ont chacune une griffe longue, forte à la base, incurvée, sclérifiée à l'apex tandis que la P3 a une griffe très courte, plus large que longue, portant deux longues soies.

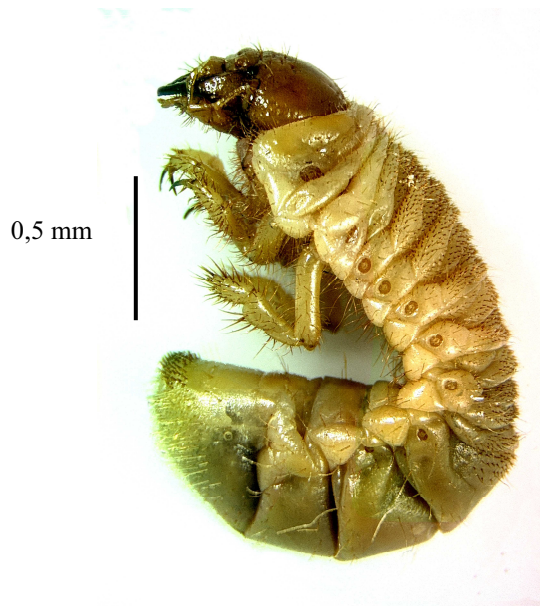


Fig. 67 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 68). Il est un peu plus large que long et symétrique. La zone médiane du bord antérieur est en pointe arrondie, avec deux + deux soies externes et quatre soies internes rapprochées. On distingue également deux soies latéro-antérieures externes et deux + une soies latéro-antérieures internes, une soie latérale et une à quatre courtes soies latéro-postérieures. Les soies de l'acanthoparia sont bien visibles latéralement, de l'aire latéro-antérieure à l'aire latéro-postérieure. Par ailleurs, on a deux soies labro-internes.

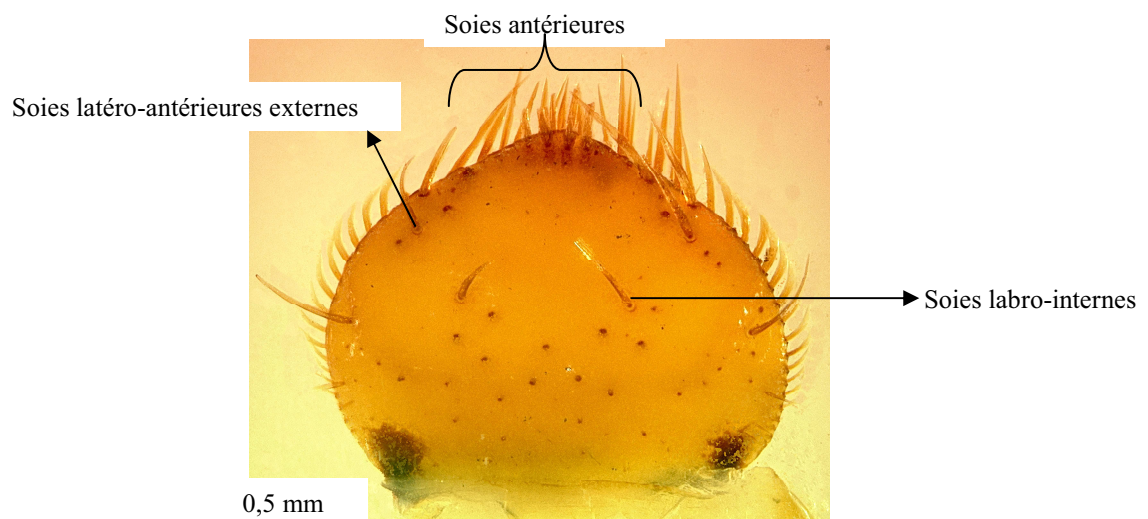


Fig. 68 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 69). L'haptomère est constitué d'une rangée transversale de cinq très fortes épines sclérifiées subégales. Le proplegmatum est peu développé tandis que le plegmatum est

bien distinct, s'élargissant vers l'avant. L'acanthoparia est formé de 13 à 15 soies lamelliformes incurvées vers l'avant. Le chaetoparia est dissymétrique et les soies convergent vers l'aire pédiale, les plus petites à la périphérie. L'aire pédiale est glabre.

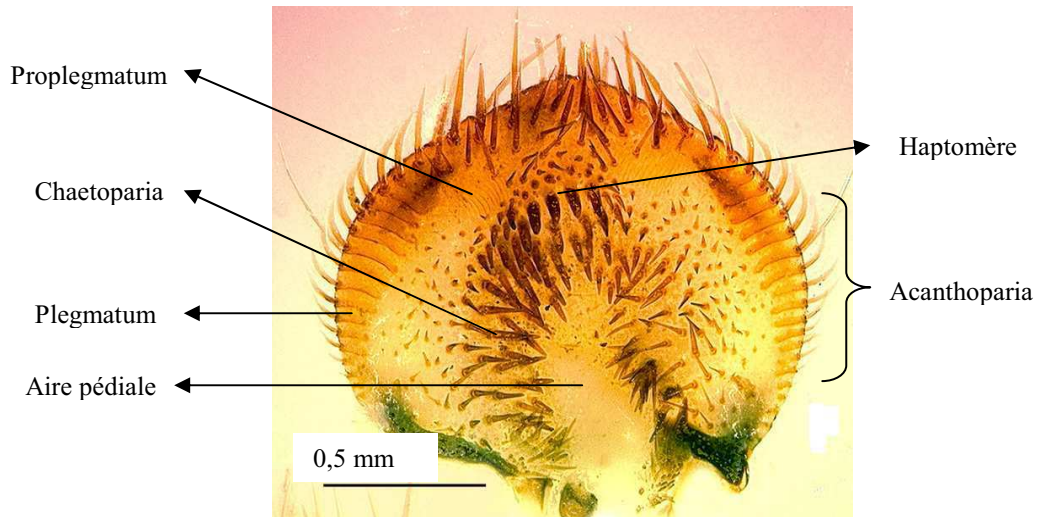


Fig. 69 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 70). La fente anale en "Y" est bordée de courtes soies. Les palidia en "V" inversé sont formés de 10 à 12 soies épineuses, plus longues vers l'apex. Les teges sont formés de quatre rangées de courtes et fortes soies sclérifiées, aplaties et incurvées. La barbula comporte de nombreuses longues soies denses.

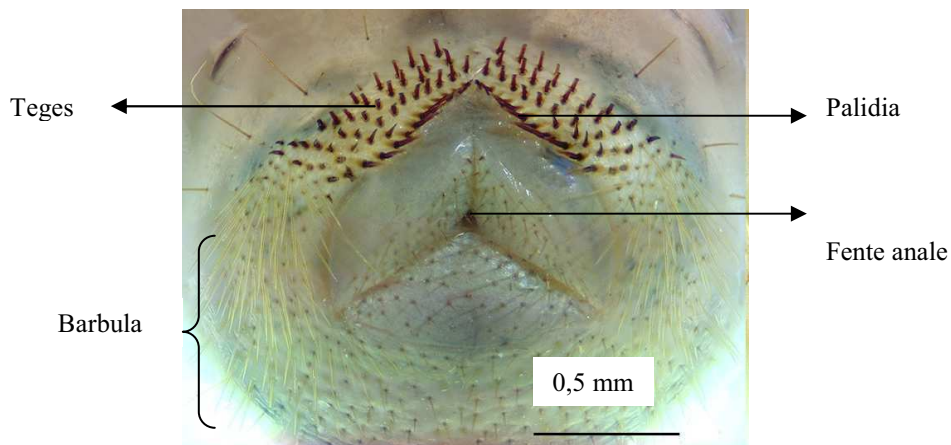


Fig. 70 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.13) Apicencya waterloti (Dewailly, 1950)

- Larve

Elle est de couleur blanche et mesure 37,25 mm. La tête est jaunâtre (Fig. 71). Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, toutes de structure analogue : coxa, trochanter inséré latéralement sur la coxa, fémur, tibiotarse. Les pattes P1 et P2 ont chacune une griffe très longue, très forte à la base, incurvée, sclérifiée à l'apex. La patte P3 a une griffe courte, à peine plus longue que large, à apex pointu sclérifié, portant deux longues soies.



Fig. 71 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 72). Il est un peu plus large que long et est symétrique. La zone médiane du bord antérieur est en pointe arrondie, avec deux + deux soies externes et quatre soies internes rapprochées à l'intérieur d'une zone pigmentée subcirculaire. On distingue également deux soies latéro-antérieures externes et deux + une soie latéro-antérieures internes, une soie latérale et cinq à sept courtes soies latéro-postérieures. Les soies de l'acanthoparia sont bien visibles latéralement, de l'aire latéro-antérieure à l'aire latéro-postérieure. On a deux soies labro-internes.

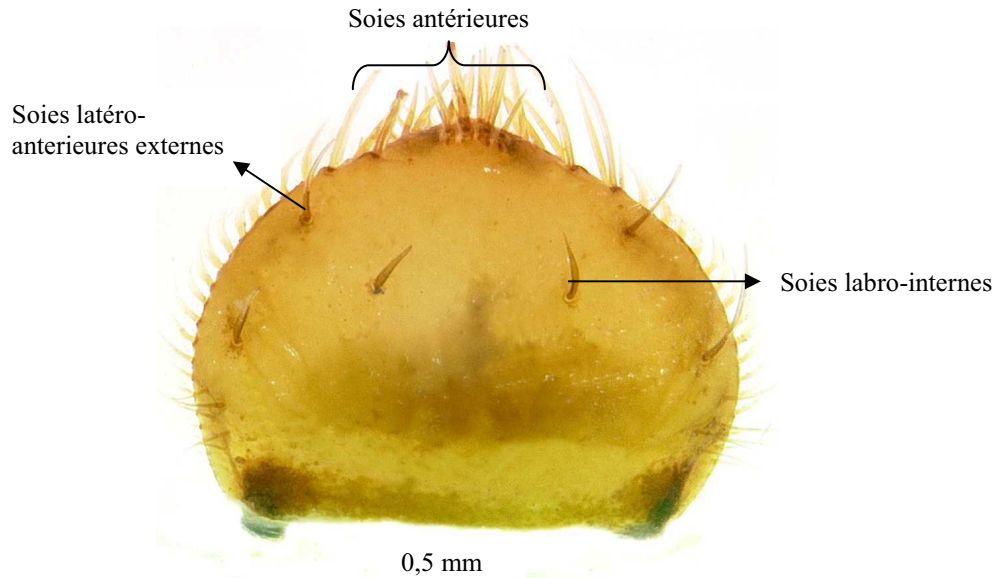


Fig. 72 Labre

(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPYPHARYNX (Fig. 73). L'haptomère est constitué d'un groupe de très fortes épines. Le proplegmatum réduit, est formé de 12 à 15 bourrelets parallèles. Le plegmatum est développé. L'acanthoparia est formé de 13 à 16 courtes soies lamelliformes incurvées vers l'avant, de taille croissant d'arrière en avant. Le chaetoparia est dissymétrique, à fortes soies convergeant vers l'aire pédiale, qui est glabre.

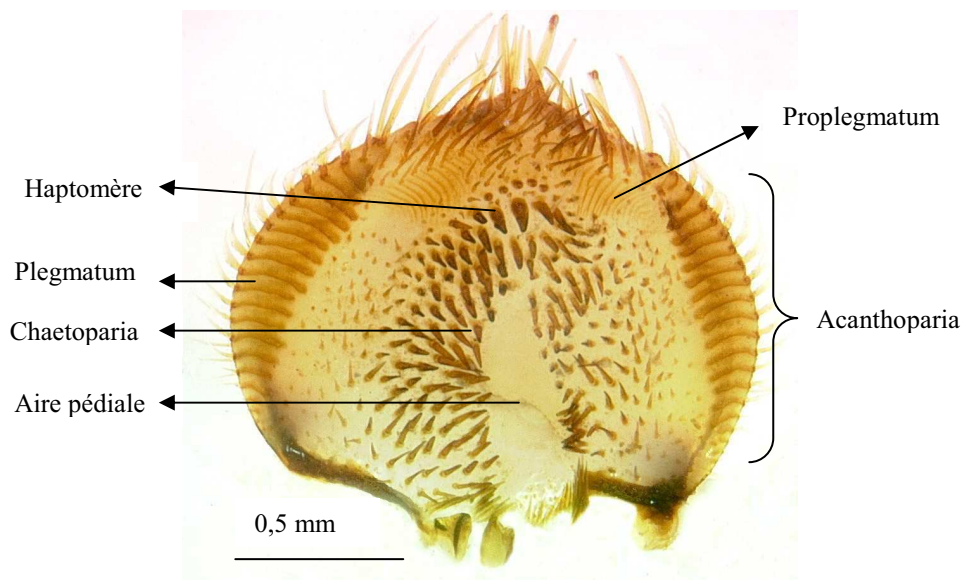


Fig. 73 Epipharynx

(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 74). La fente anale est en "Y" et les palidia sont en forme de fuseau, formés de deux rangées symétriques de 13-15 fortes soies orientées vers l'intérieur. Le septula est

glabre. Les teges sont formés de soies concentriques, denses, épaisses et longues à l'intérieur, plus courtes et éparées à l'extérieur. La barbula comporte de nombreuses soies allongées.

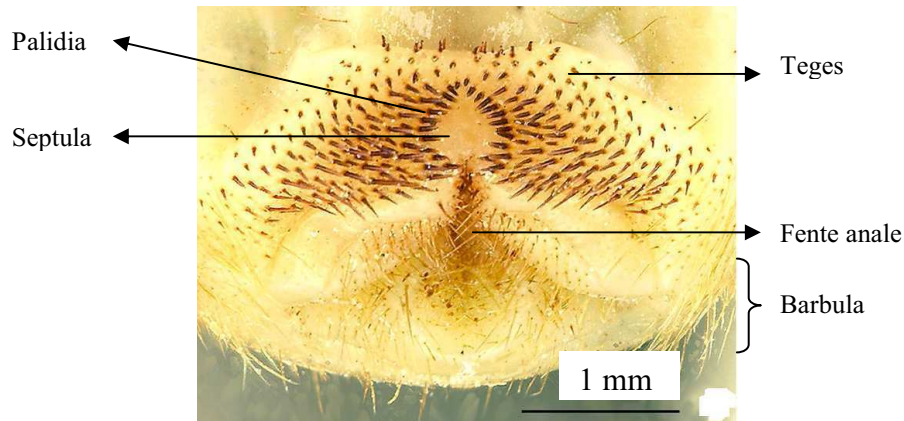


Fig. 74 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle est de couleur jaunâtre, taille moyenne= 22 mm (Fig. 75). Sa silhouette est fusiforme, très large, effilée aux extrémités. Le pronotum est subtriangulaire sur les tergites II-V, les épines sont orientées vers l'arrière. Sur les quatre premiers sternites visibles les épines sont espacées. La première paire de stigmates abdominaux est cachée sous les ptérothèques. Trois paires de stigmates sont bien développés sur les tergites II-IV ; deux paires sont effacées sur les tergites V-VI et deux paires sont vestigiales sur les tergites VII-VIII. Les structures ano-génitales externes est formée d'une capsule génitale saillante de forte taille. Les crochets apicaux sont larges, incurvés, chacun portant deux courtes épines à l'apex, légèrement écartés, convergents, non sclérifiés.

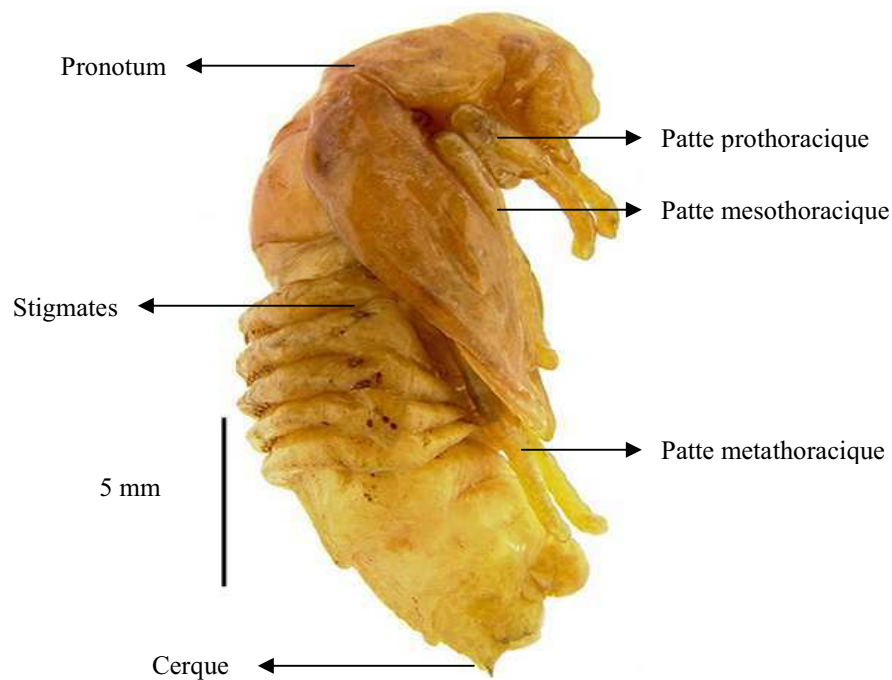


Fig. 75 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.2.14) Empecta scutata (Fairmaire, 1901)

- Larve

La larve est de couleur blanc laiteux et mesure 19,75 mm (Fig. 76). La tête est jaunâtre. Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, de structure analogue : coxa, trochanter inséré latéralement sur la coxa, fémur, tibiotarse. Les pattes P1 et P2 ont chacune une griffe longue, sublinéaire, large à la base, pointue, sclérifiée à l'apex, la griffe 1 plus longue que la 2. Le tibiotarse 3 comporte un apex arrondi, sans griffe.



Fig. 76 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 77). Il est un peu plus large que long et symétrique, avec des soies de section non circulaire, aplaties. La zone médiane du bord antérieur est en pointe, avec deux + deux soies externes et quatre soies internes rapprochées (celles en position centrale plus fortes que celles en position périphérique). On a aussi, deux soies latéro-antérieures externes, deux + une soies latéro-antérieures internes et une soie latérale. Les soies de l'acanthoparia sont bien visibles latéralement, de l'aire latéro-antérieure à l'aire latéro-postérieure. Deux soies labro-internes. Du côté postérieur, on a une rangée transversale irrégulière d'une quinzaine de soies.

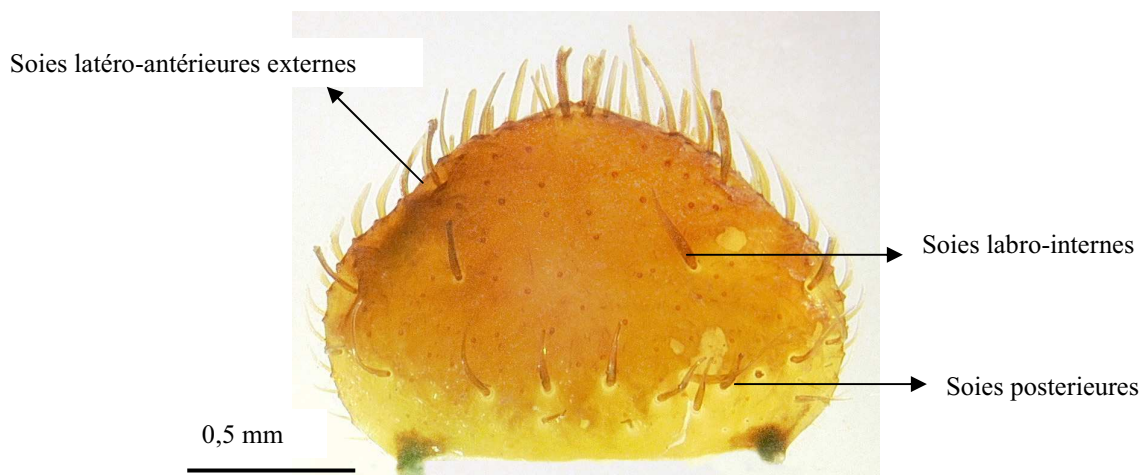


Fig. 77 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 78). L'haptomère est formé d'une rangée transverse de sept très fortes épines. L'acanthoparia comporte 8 à 11 soies lamelliformes incurvées vers l'avant. Le

proplegmatum est absent. Le plegmatum est bien développé. Le chaetoparia est plus ou moins symétrique, à rangs concentriques de soies de densité moyenne convergeant vers l'aire pédiale, qui est glabre.

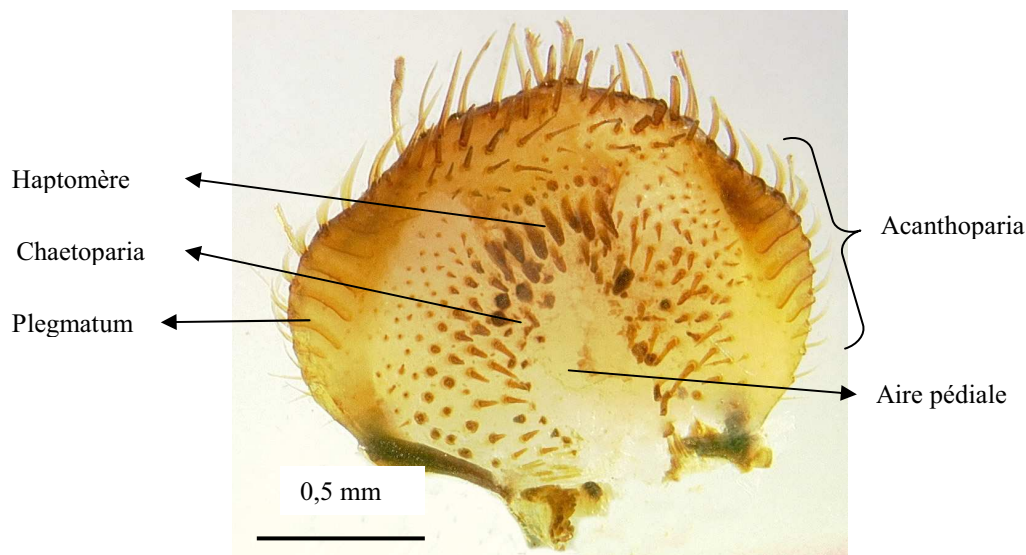


Fig. 78 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 79). La fente anale en "Y" présente du côté dorsal de courtes et longues soies mêlées. Les palidia sont formés vers l'avant de deux rangées symétriques de très courtes épines, et vers l'arrière de deux groupes symétriques de fortes et longues épines aplaties. L'ensemble dessine un "T" inversé et toutes les soies sont inclinées vers le septula, qui est glabre. Les teges sont formés de courtes soies peu nombreuses et dispersées disposées symétriquement de chaque côté des palidia. La barbula comporte de longues soies peu nombreuses.

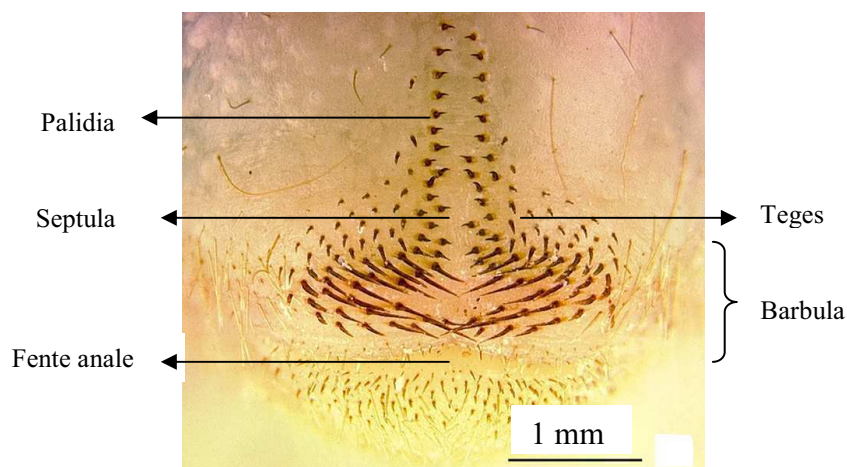


Fig. 79 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle est de couleur jaunâtre, taille moyenne= 12,75 mm. Sa silhouette est fusiforme et large. Le Pronotum est plus ou moins arrondi. Les crochets apicaux sont pointus, fins, avec un petit lobe arrondi à la base, accolés, divergents en "T". La première paire de stigmates abdominaux est cachée sous les ptérothèques, aux contours émoussés. Sur les tergites II-IV, on a une paire de stigmates aux contours bien marqués, une paire de stigmates effacés sur les tergites V-VI et une paire de stigmates vestigiaux sur les tergites VII-IX.

B.2.2.15) *Hoplochelus betanimena* (Künckel, 1887)

- Larve

Elle est de couleur blanche et de taille moyenne= 36 ,75 mm et sa tête est jaunâtre (Fig. 80). Les pattes sont longues, de longueur croissante de P1 à P3, de structure analogue : coxa, trochanter inséré latéralement sur la coxa, fémur, tibiotarse. Les pattes P1 et P2 ont chacune une griffe longue, sublinéaire, large à la base, pointue, sclérifiée à l'apex, la griffe 1 plus longue que la 2. La P3 a une griffe courte, plus large que longue, à apex pointu sclérifié, portant deux longues soies.



Fig. 80 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 81). Il est transverse, subsymétrique. La zone médiane du bord antérieur est en pointe émoussée, avec deux + deux soies externes et quatre soies internes rapprochées. On a trois soies latéro-antérieures externes et deux + une soies latéro-antérieures internes et une

soie latérale. Les soies de l'acanthoparia sont bien visibles latéralement, de l'aire latéro-antérieure à l'aire latéro-postérieure. On a également deux soies labro-internes.

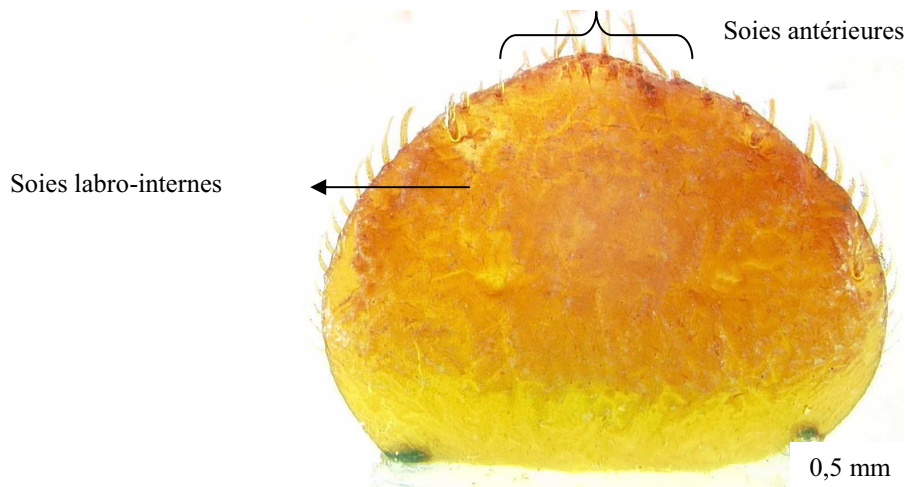


Fig. 81 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 82). L'haptomère est constitué de deux rangées de sept et six fortes épines coniques sclérifiées implantées sur un relief saillant. L'acanthoparia est formé de 13 à 15 soies lamelliformes incurvées vers l'avant. Le proplegmatum est absent et le plegmatum développé. Le chaetoparia est presque symétriques avec des soies convergeant vers l'aire pédiale qui est glabre, plus fines et plus courtes à la périphérie,

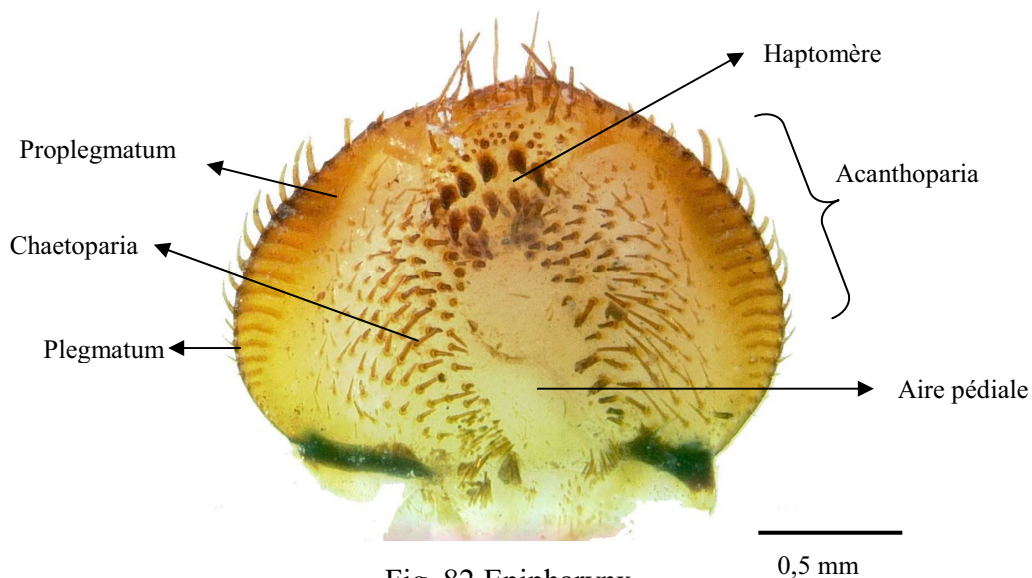


Fig. 82 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 83). La fente anale en "Y" présente du côté dorsal de très courtes soies coniques mêlées à des soies plus longues. Les palidia sont en forme d'ogive « gothique » dont la pointe

serait tronquée, formés de longues et fortes soies densément réparties sur quatre rangs et orientées vers le septula, qui est glabre. Les teges comportent des soies aplaties, recourbées à l'apex, espacées, dessinant un large V renversé.

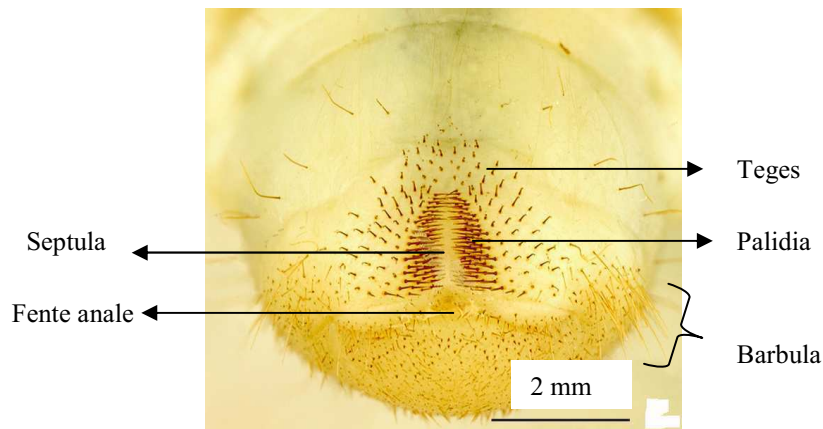


Fig. 83 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

- Nymphe

Elle a une couleur jaunâtre, taille moyenne= 17 mm (Fig. 84). Sa silhouette est fusiforme et étroite. Le pronotum est anguleux antérieurement. La première paire de stigmates abdominaux est cachée sous les ptérophères et ils sont plus petits que ceux des tergites suivants. Sur les tergites II-IV on a une paire de stigmates aux contours bien marqués et sclérifiés et une paire de stigmates effacés sur les tergites V-IX. Les crochets apicaux sont petits, effilés, accolés, divergents en "V", entièrement sclérifiés.

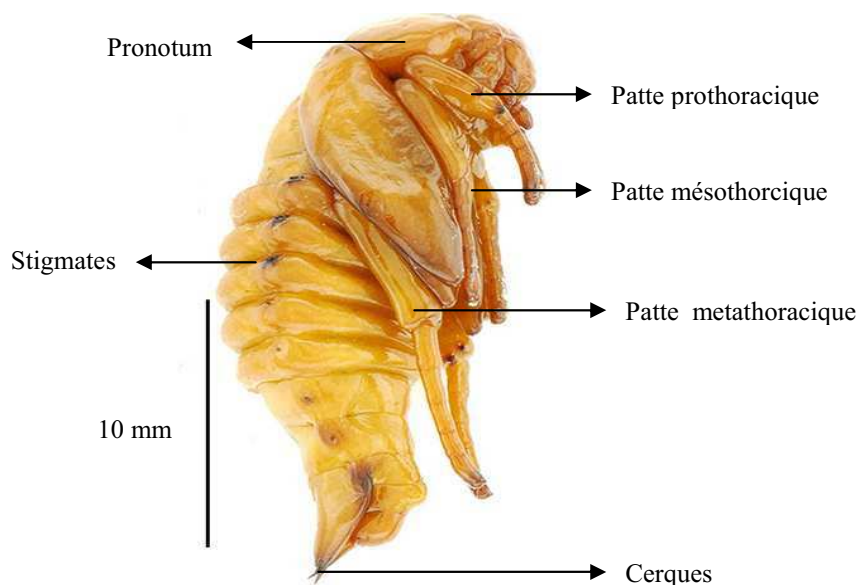


Fig. 84 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

FAMILLE ORPHNIDAE

B.2.2.16) *Triodontus nitidulus* (Guérin, 1844)

- Larve

La larve est de couleur blanche, taille 14,75 mm, présentant une tête de couleur jaune (Fig. 85). Les pattes sont longues, de longueur légèrement croissante de P1 à P3, de structure analogue : coxa, trochanter inséré latéralement sur la coxa, fémur, tibiotarse. Griffes longues, aigües, incurvées, sclérifiées.



Fig. 85 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

LABRE (Fig. 86) Il est transverse, subsymétrique, trilobé, en forme générale de losange tronqué en arrière. Le lobe médian étroit, forme une pointe anguleuse, dessinant la silhouette d'une pyramide à degrés, avec trois groupes symétriques de deux soies. Les soies de l'acanthoparia sont visibles latéralement, sur l'aire latéro-antérieure.

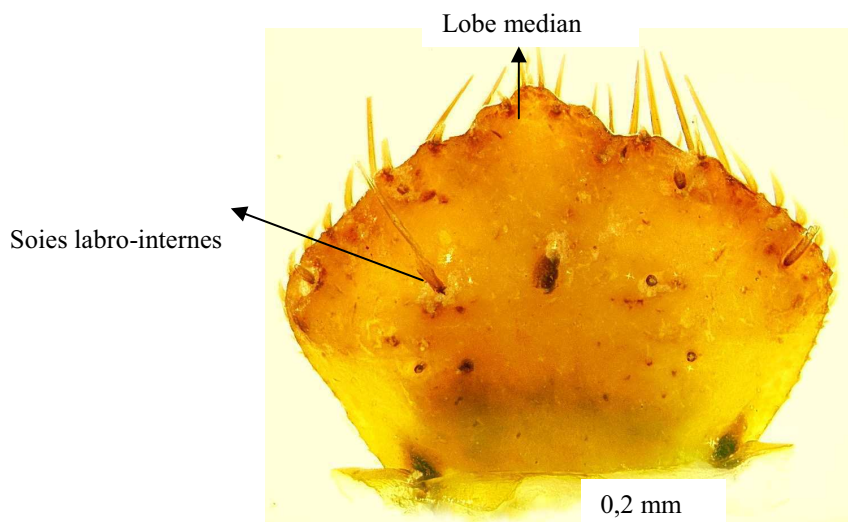


Fig. 86 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

EPIPHARYNX (Fig. 87). L'haptomère est formé de quatre longues et fortes soies. L'acanthoparia est constitué de neuf courtes soies de taille croissante, incurvées vers l'avant. Le chaetoparia est subsymétriques, avec des rangées concentriques de soies épaisses convergeant vers l'aire pédiale, qui est glabre. Le plegmatum est développé. L'acroparia comporte quatre longues et fortes soies et une plus courte à droite et quatre longues soies à gauche. Le corypha est formé de quatre longues et fortes soies.

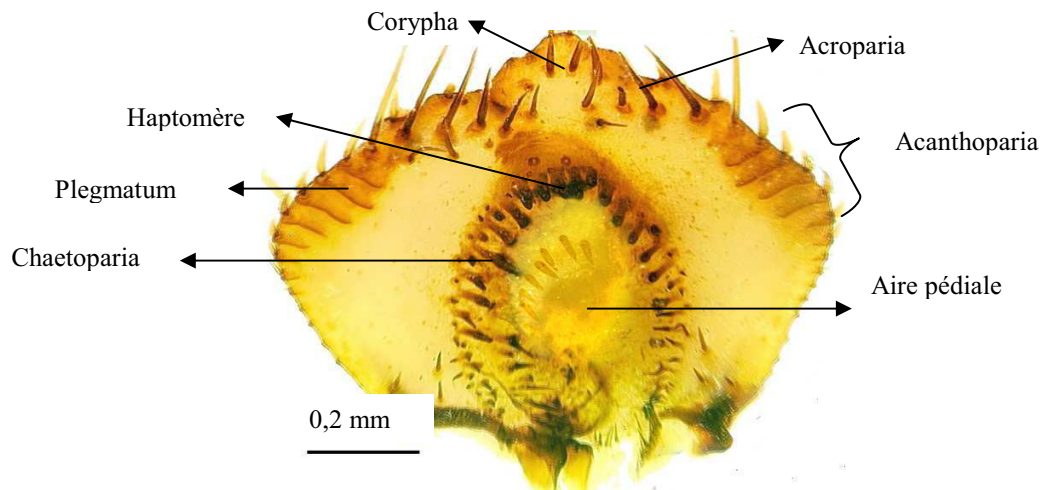


Fig. 87 Epipharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

RASTER (Fig. 88). Le côté dorsal de la fente anale en "Y" est glabre. Les palidia sont formés de 20 épines convergeant vers la fente anale, formant un arc de cercle, les plus longues vers l'anus, les plus courtes vers l'avant. Les teges sont formés des soies épineuses. La barbula a de très longues soies.

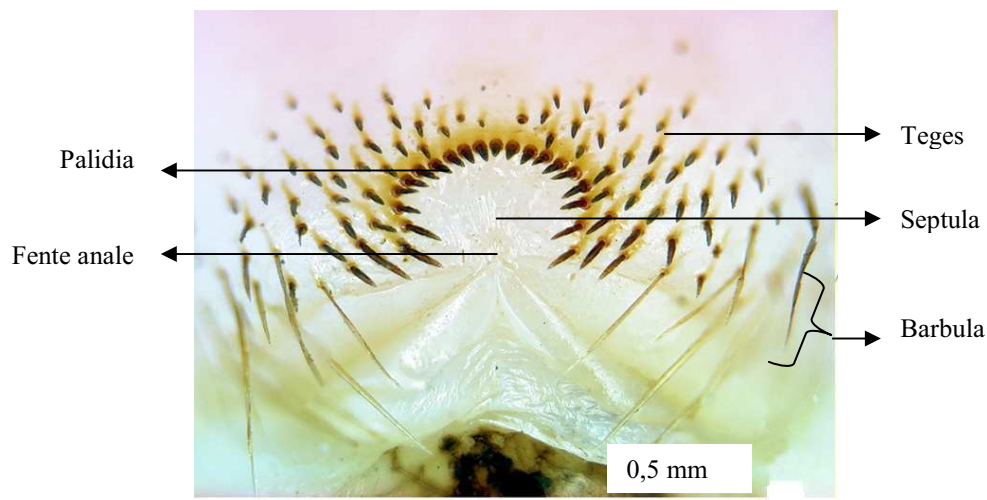


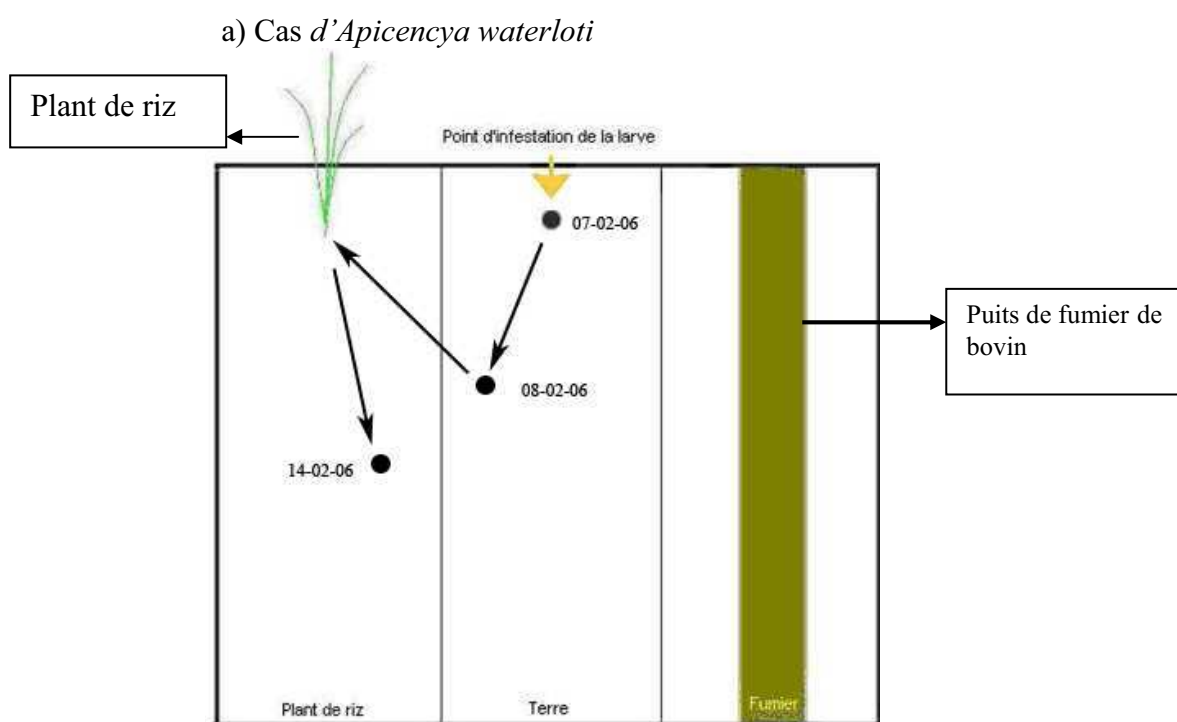
Fig. 88 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

B.2.3) COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DE QUELQUES VERS BLANCS AUTRES QUE *HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS*

B.2.3.1). *Préférence alimentaire de trois espèces de vers blancs : Apicencya waterloti (Melolonthidae) ; Bricoptis variolosa (Cetoniidae) et d'Heteroconus paradoxus (Dynastidae)*

Parmi les 26 espèces de vers blancs peu connus que nous avons pu collecter, le statut en tant que ravageur n'était pas établi, sauf pour quelques unes d'entre elles dont *Heteronychus* spp. et *Apicencya waterloti*. Au champ et dans nos dispositifs expérimentaux à Andranomanelatra, nous avons observé que 90% des plants ont été attaqués par *A. waterloti*.

Les figures 89 et 90 donnent des exemples de déplacements des larves depuis leur point de départ jusqu'à la fin de la manipulation, pour les espèces *A. waterloti* et *B. variolosa*. Les points indiquent la localisation de la larve à une date donnée. Il n'a pas été possible de bien suivre la galerie faite par la larve, car elle se trouve quelquefois dans la masse de la terre, ce qui rend difficile les observations. Les flèches n'indiquent pas le chemin réel de la larve mais relient les positions successives. Les dates indiquées dans la figure indiquent la localisation de la larve lorsqu'elle était visible à travers la paroi de la vitre.



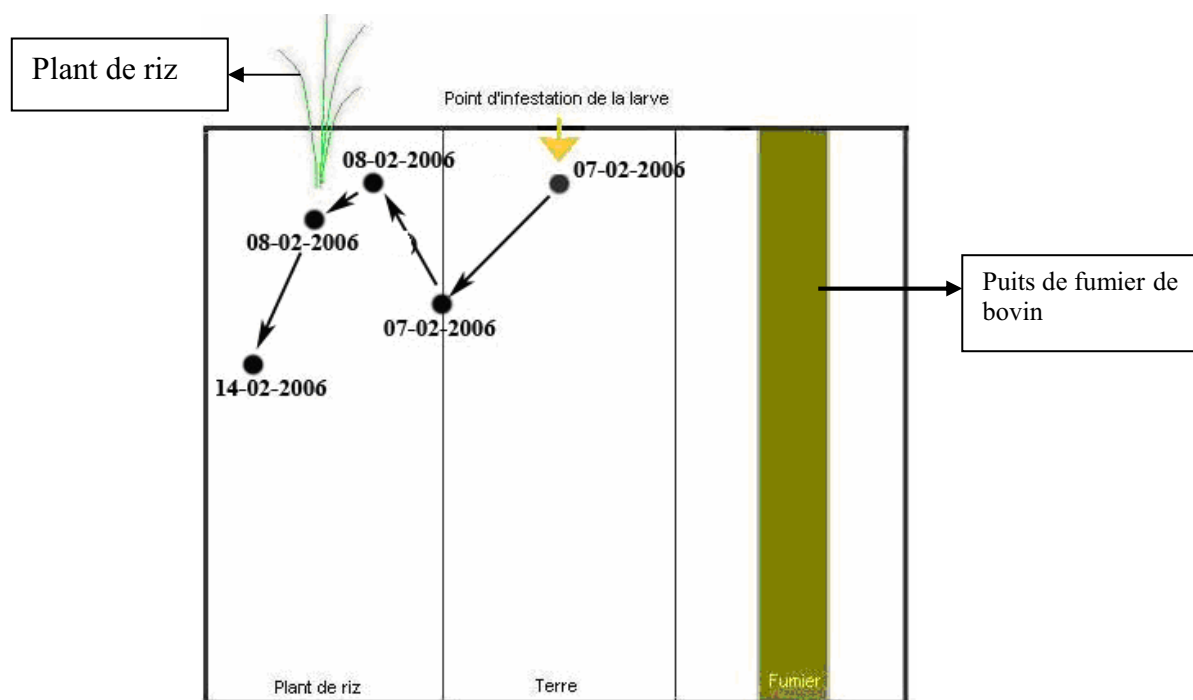


Fig. 89 Déplacements de la larve d'*Apicencya waterloti*. Les flèches indiquent le sens du déplacement de la larve à partir du point d'infestation.

Les plants de riz et le puits de fumier sont situés à 10 cm de part et d'autre du point d'infestation. Au lendemain de l'infestation, la larve se trouvait déjà près des racines de riz (Fig. 89) et nous avons remarqué que la plante commençait à faner indiquant qu'elle avait été attaquée. Les racines des plants ont été toutes mangées et dans certains cas toutes les parties ont été toutes mangées la tige ayant été tirée par la larve dans sa galerie. En revanche, le déplacement vers le fumier de bovin est très rare. A la fin de la manipulation, nous avons observé que tous les plants de riz ont été attaqués. Trois larves ont été localisées dans le compartiment avec du fumier de bovin et trois autres dans le compartiment avec de la terre seule. Nous avons remarqué que ces larves ont attaqué d'abord les plants de riz et qu'elles ont été localisées par la suite dans les compartiments respectifs. Le reste (10 larves) se trouvait dans le compartiment avec le plant de riz.

b) Cas de *Bricoptis variolosa*

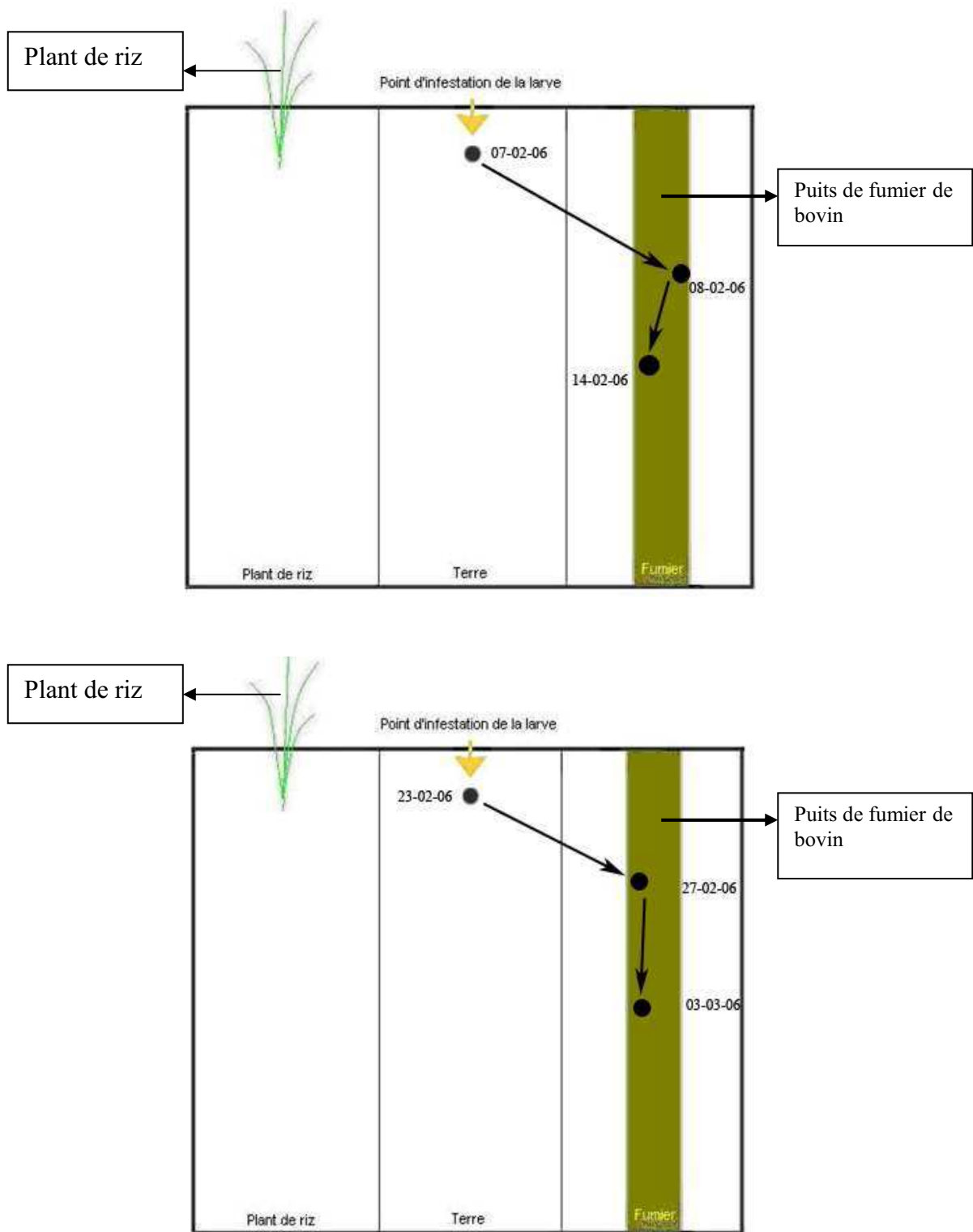


Fig. 90 Déplacements de la larve de *Bricoptis variolosa*. Les flèches indiquent le sens du déplacement de la larve à partir du point d'infestation.

Contrairement à la larve d'*Apicencya waterloti*, celle de *B. variolosa* s'est dirigée vers le compartiment avec du fumier de bovin. A la fin de la manipulation, toutes les larves ont été

localisées dans le puits de fumier de bovin (Fig. 90). Aucune larve n'a été localisée ni dans le compartiment avec de la terre seule ni dans le compartiment avec le plant de riz.

c) Cas d'*Heteroconus paradoxus*

Le déplacement de la larve n'a pas pu être suivi.

Toutefois, les observations ont montré que la larve a attaqué les racines du riz, mais de façon moindre que celle d'*Apicencya waterloti* (Fig. 91).

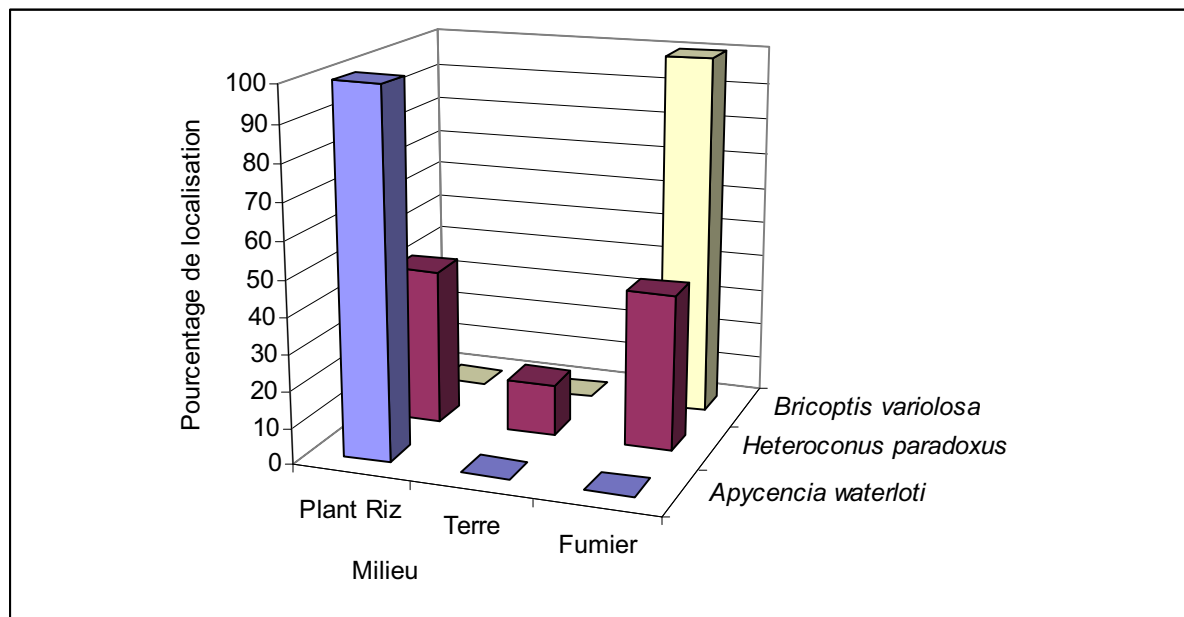


Fig. 91 Pourcentage de localisation des larves dans les différents milieux selon les espèces.

Cette expérimentation montre qu'*A. waterloti* est strictement rhizophage tandis que *B. variolosa* est saprophage. La larve de cette dernière a été toujours localisée dans le fumier de bovin. *Heteroconus paradoxus* montrait un comportement de saprophagie facultative vis-à-vis du milieu utilisé car certaines plantes ont été attaquées par la larve alors que certains individus ont été localisés dans le fumier (Fig. 91).

B.2.3.2) *Plasticité trophique de 5 espèces de vers blancs : Heteronychus arator rugifrons ; H. plebeius, H. bituberculatus, Hexodon unicolor unicolor et Bricoptis variolosa.*

a) Cas de *Heteroconus paradoxus*

Quelque soit le type de sol et la teneur en matière organique dans tous les traitements, les plants de riz ont été attaqués par les larves de *Heteroconus paradoxus*. Néanmoins, les attaques causées par les larves de cette espèce ont varié suivant le type de sol et la teneur en matière organique. Selon le type de sol, elles ont été plus graves sur le sol d'Andranomanelatra que sur le sol d'Ibity, surtout avec le sol pauvre seul (SS), et le sol pauvre mélangé avec fumier (SFB). Aucune plante n'a été attaquée sur le sol pauvre d'Ibity mélangé avec de la paille de riz broyée (SPR) (Fig. 92).

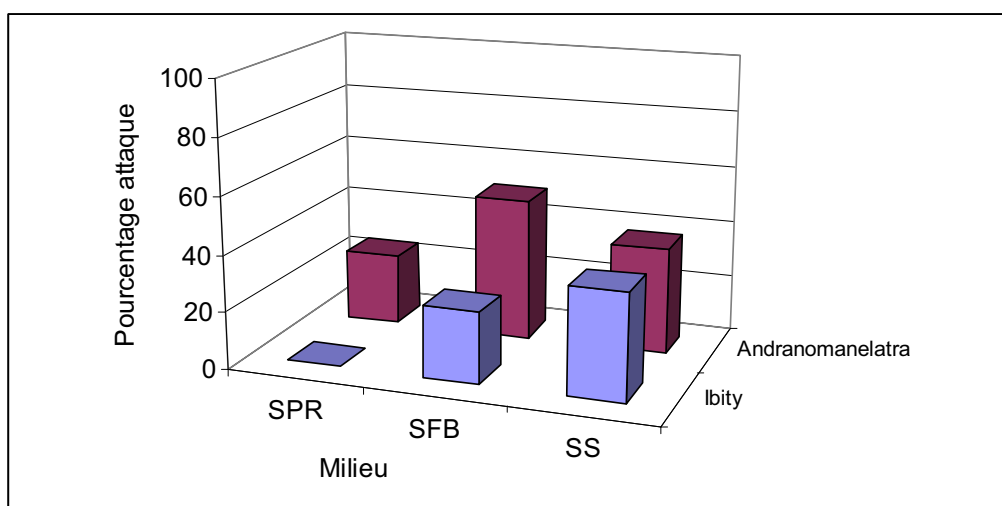


Fig. 92 Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteroconus paradoxus* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique (SPR= sol pauvre mélangé avec de la paille de riz broyée, SFB =sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin, SS= sol pauvre seul).

b) Cas de *Heteronychus arator rugifrons*

Pour *Heteronychus arator rugifrons*, et quelque soit le type de sol, les attaques ont été très sévères. Presque tous les plants ont été attaqués aussi bien sur sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin (SFB) que sur sol pauvre seul (SS) (Fig. 93). La différence a été nettement significative avec le sol mélangé avec de la paille broyée par rapport à ceux mélangés avec du fumier et/ou utilisé seul (Tab.7).

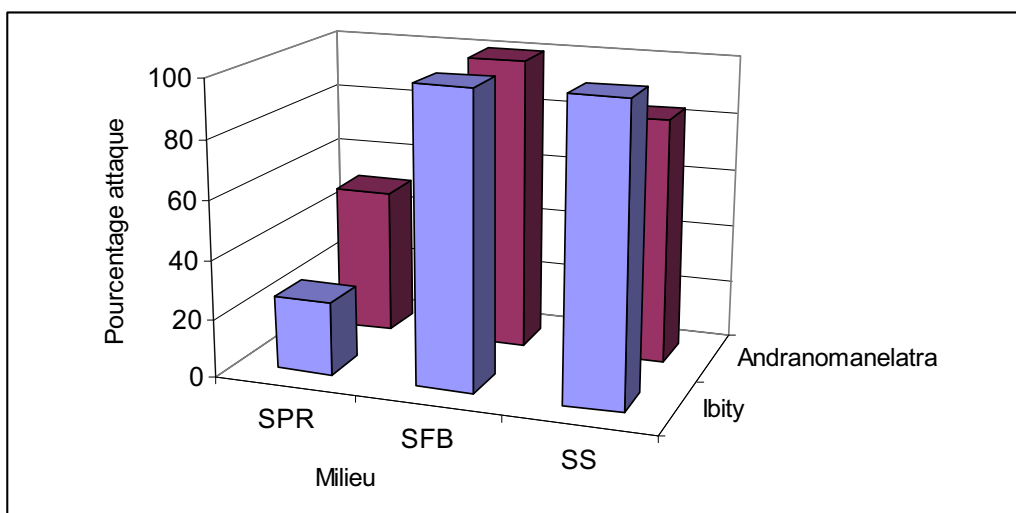


Fig. 93 Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteronychus arator rugifrons* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique (SPR= sol pauvre mélangé avec de la paille de riz broyée, SFB =sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin, SS= sol pauvre seul).

c) Cas de *Heteronychus plebeius* et *Heteronychus bituberculatus*

Dans le cas d'*H. plebeius* et *H. bituberculatus*, nous avons remarqué que l'importance des attaques a été presque la même pour les deux types de sol. Si elles étaient moins importantes sur sol pauvre mélangé avec de la paille de riz broyée (SPR) et sur sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin (SFB), elles ont été plus graves sur sol pauvre seul (SS) surtout dans le cas du sol d'Ibity (Fig. 94). Ces attaques ont été plus importantes dans le cas d'*H. bituberculatus* (Fig. 95).

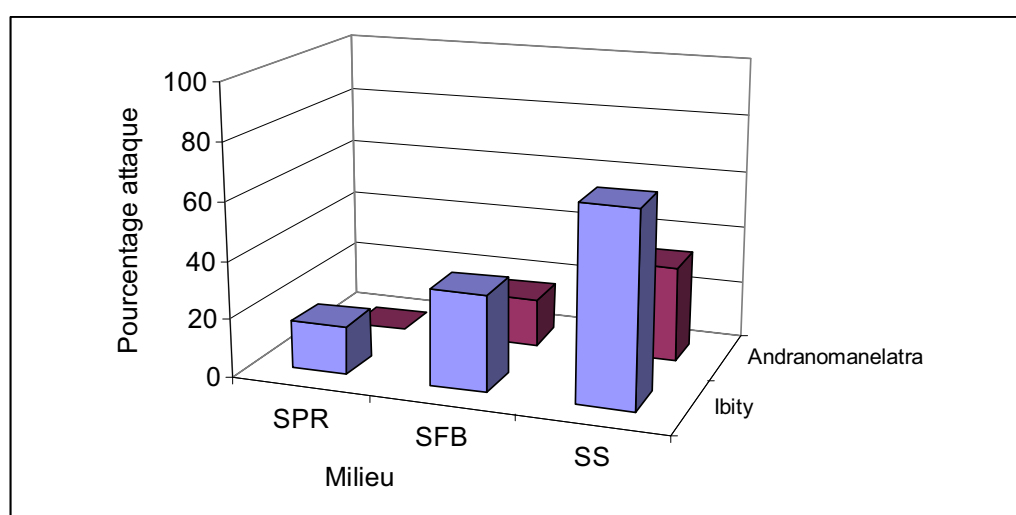


Fig. 94 Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteronychus plebeius* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique (SPR= sol pauvre mélangé avec de la paille de riz broyée, SFB =sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin, SS= sol pauvre seul).

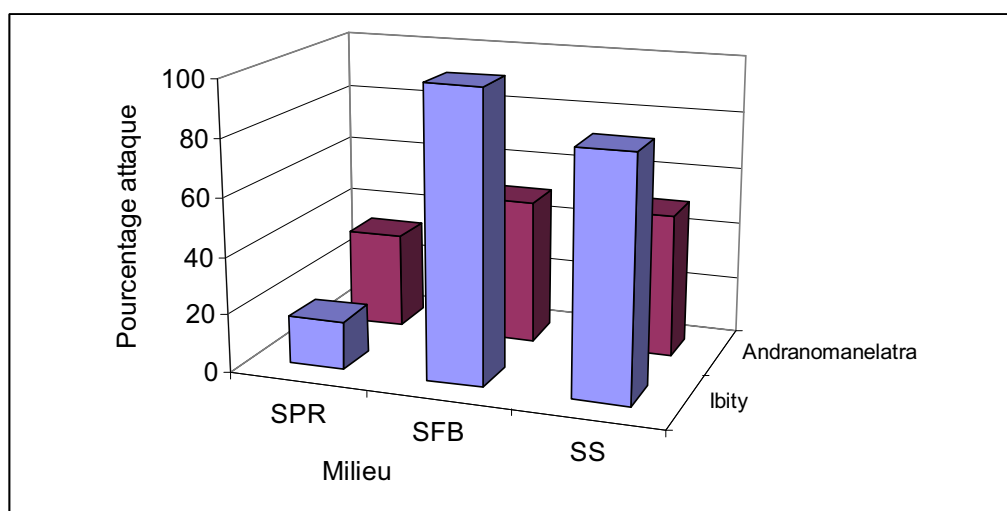


Fig. 95 Dégâts au riz (cv FOFIFA 161) par les larves d'*Heteronychus bituberculatus* en fonction de l'origine du sol et de son statut en matière organique (SPR= sol pauvre mélangé avec de la paille de riz broyée, SFB =sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin, SS= sol pauvre seul).

Tab. 10. Pourcentage d'attaque selon les espèces et le statut en matière organique du sol.

Espèce	Attaque racines riz (%)					
	En sol pauvre seul		En sol pauvre avec fumier		En sol pauvre avec paille	
<i>Heteronychus arator rugifrons</i>	91,7%	Aa	100,0%	Aa	37,5%	Bb
<i>Heteronychus bituberculatus</i>	66,7%	Aa	75,0%	Aab	25,0%	Ab
<i>Heteronychus plebeius</i>	50,0%	Aab	25,0%	Ac	8,3%	Ab
<i>Hexodon unicolor unicolor</i>	0,0%	Ac	0,0%	Ac	0,0%	Ab
<i>Bricoptis variolosa</i>	0,0%	Abc	0,0%	Ac	0,0%	Ab

Les moyennes suivies d'une même lettre, en majuscules sur une même ligne, et en minuscules sur une même colonne, ne sont pas significativement différentes au seuil de 5% par la méthode de Newman-Keuls

Les espèces *Hexodon unicolor unicolor* et *Bricoptis variolosa* n'ont attaqué les plants de riz sur aucun des traitements dans les deux types du sol. Ces résultats montrent que *H. unicolor unicolor* et *B. variolosa* montrent une indifférence à la plante de riz contrairement aux autres espèces utilisées (Tab. 7).

B.2.4) BIOTOPE

B.2.4.1) Densité des larves au mois de février selon les niveaux de toposéquence

Outre *H. arator rugifrons*, sept espèces ont été trouvées dans les prélèvements dont *Triodontus nitidulus* ; *Encya sikorai* ; *Bricoptis variolosa* ; *Celidota parvula* ; *Apicencya waterloti* ; *H. bituberculatus* et l'espèce codifiée SP 17 (*Serica* sp) qui n'a pas encore été identifiée de façon précise. La diversité des espèces augmente avec la hauteur de la toposéquence : 3/7 en bas-fonds, 5/7 à mi-hauteur et 7/7 en hauteur (Fig. 96). En général, les cétoines telles, *Bricoptis variolosa* et *Celidota parvula* sont abondantes en hauteur. Nous avons remarqué que la plus grande concentration larvaire pour *H. bituberculatus* a été observée dans les milieux situés en bas-fonds et à mi hauteur de la toposéquence avec une densité de 1,18 et 4,56 individus/m² respectivement. Cependant, quelques larves été observés en hauteur. *SP 17* a été également observée en majorité en bas-fonds et mi-hauteur. En hauteur, sa densité est faible (0,93 individus par m²). A l'inverse d' *H. bituberculatus* et de *SP 17*, la densité de *Triodontus nitidulus* reste abondante en mi-hauteur (3,37 individus par m²) et en hauteur (1,62 individus par m²) mais faible en bas-fonds (0,12 individus par m²). *Apicencya waterloti* fréquente en général les milieux secs situés en hauteur.

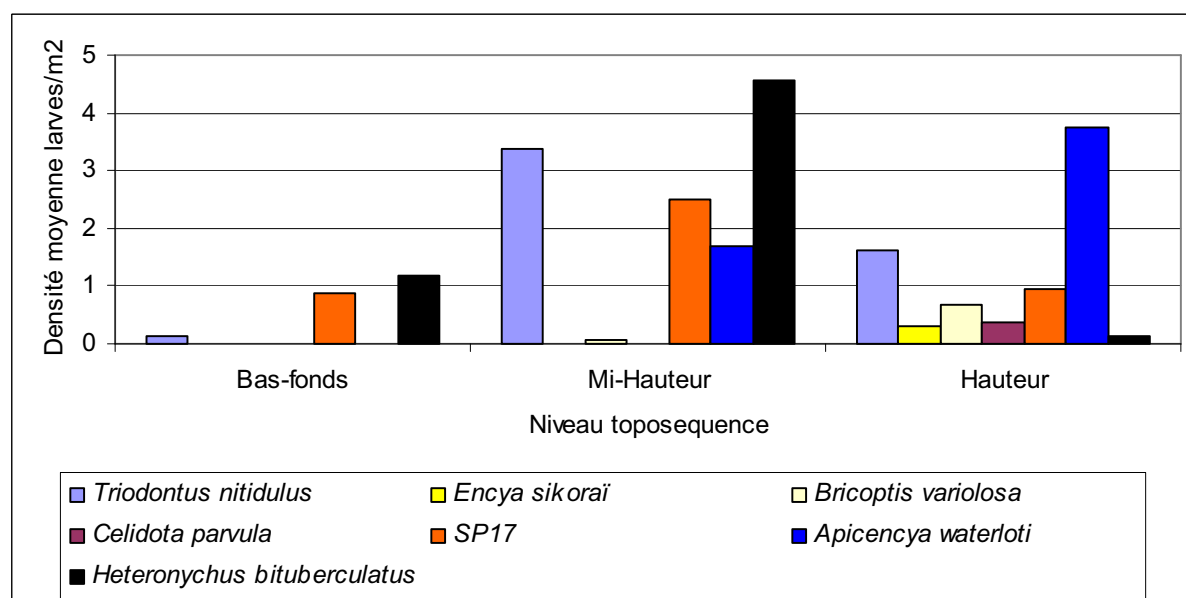


Fig. 96 Densité moyenne des larves par m² des autres espèces de vers blancs selon les niveaux de la toposéquence (prélèvement de Février)

B.2.4.2) Densité des larves au mois de juin selon les niveaux de toposéquence

Aussi bien en février qu'en juin, *Encya sikorai*; *Celidota parvula* ; *Apicencya waterloti* et *H. bituberculatus* ont été trouvés. En juin, ces espèces ont fréquenté les mêmes niveaux de toposéquence observés en février. *H. bituberculatus* est présente en bas-fonds avec une abondance à mi-hauteur mais existe également en hauteur ; *Encya sikorai* fréquente tous les niveaux et *Celidota parvula* n'a été observé qu'en hauteur.

D'autres espèces ont été toutefois collectées. *Heteronychus plebeius* a été trouvé en bas-fonds et à mi-hauteur alors que *Paramorphochelus cornutus* se trouvait en hauteur. *Enaria melanictera* existe en mi-hauteur (Fig. 97). La densité des larves/m² observée en juin a beaucoup augmenté par rapport à celle de février et la diversité reste toujours à l'avantage des zones sèches.

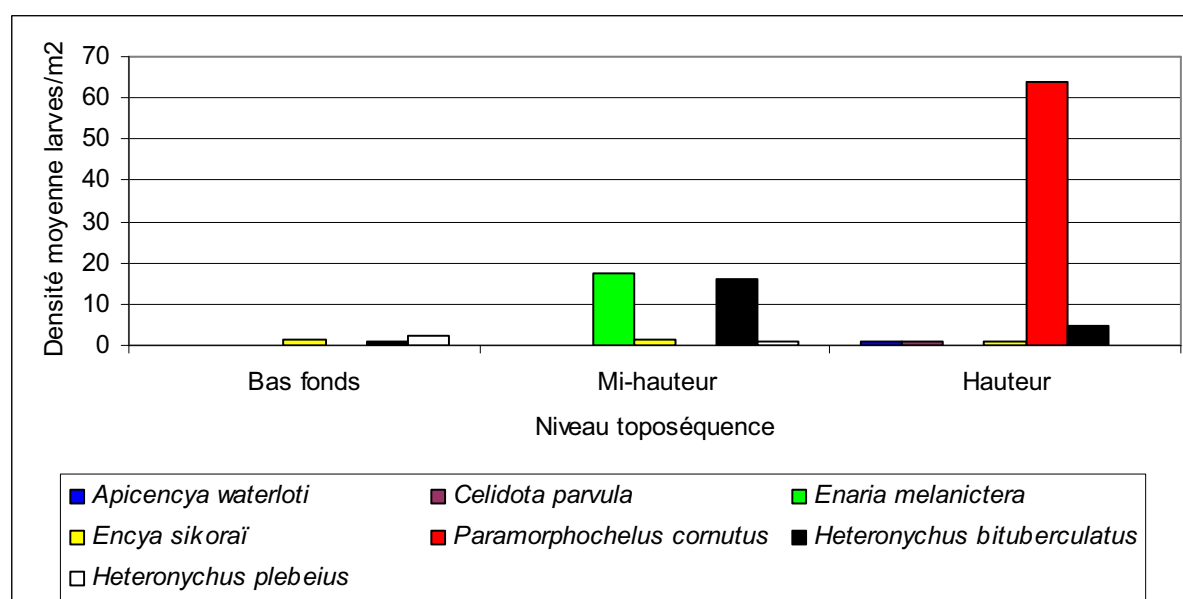


Fig. 97 Densité moyenne des larves par m² des autres espèces de vers blancs selon les niveaux de la toposéquence (prélèvement de Juin)

B.2.5) ACTIVITE DE VOL

Le fonctionnement du piège lumineux n'a duré que 2 mois (de mi-janvier à fin Février). Les résultats obtenus au cours de cette étude ne représentent ainsi qu'une partie de la dynamique de vol car des études antérieures menées dans la région du lac Alaotra ont montré que le vol d'*Heteronychus* apparaît déjà en octobre. L'activité de vol des Scarabaeoidea d'importance

agricole est présentée dans le tableau ci-dessous (Tab. 11) et a permis de connaître leurs mœurs crépusculaires.

Tab. 11 Activité de vol des adultes de Scarabées

Espèces	Début vol	Fin vol
<i>Heteronychus arator rugifrons</i>	19 h 00	19h50
<i>Heteronychus bituberculatus</i>	19h 00	19h45
<i>Heteroconus paradoxus</i>	19h 37	
<i>Serica</i> sp	19h 00	19h 55
<i>Paramorphochelus cornutus</i>	18h 55	19 h 50
<i>Enaria</i> sp	19h 10	
Bousier	19h 00	

Pour *Heteroconus paradoxus*, *Enaria* sp et les bousiers, nous n'avons pas pu suivre l'arrêt de leur vol.

B.2.5.1) Cas des trois espèces d'*Heteronychus* (*H. arator rugifrons*, *H. bituberculatus* et *H. plebeius*)

Dans la région du Vakinankaratra, le vol des adultes d'*Heteronychus* débute dès octobre ou novembre dépendant de l'arrivée des premières pluies. Ceci est également observé dans le cas du lac Alaotra situé à une altitude de 850 m. Le vol des adultes des Scarabées se passent en général au crépuscule. L'activité de vol des adultes d'*Heteronychus* sp dure en moyenne 1 heure. Elle commence aux environs de 19 heures et se termine vers 20 heures.

Durant la période de piégeage, 79 adultes d'*Heteronychus* sp (*H. arator rugifrons*, *H. bituberculatus* et *H. plebeius*) ont été capturés représentant 22,78% ; 75,95% et 1,27% respectivement.

Par rapport aux orientations du dispositif de piégeage, le Nord et l'Ouest correspondent à un bas-fonds constitué en majorité de rizières et de cultures pluviales vers la mi-hauteur, tandis que l'Est et le Sud situés en hauteur sont caractérisés par du riz pluvial, des cultures pluviales en majorité et de la jachère (Tab. 9).

Heteronychus arator rugifrons et *H. bituberculatus* ont été capturés dans toutes les orientations. *H. bituberculatus* a été plus abondante dans le compartiment orienté vers le Nord par rapport aux orientations Ouest et Est. Les captures pour la même espèce sont moindres pour le compartiment du piège orienté vers le Sud.

La capture d'*H. arator rugifrons* a été plus élevée dans le compartiment orienté vers le Sud (Fig. 98). *H. plebeius* est faible et n'a été capturée que dans le compartiment orienté vers le Nord. Ceci laisse à supposer que *H. bituberculatus*, *H. plebeius* et *H. arator rugifrons* fréquentent des endroits différents. *H. bituberculatus*, *H. plebeius* préfèrent plus des endroits un peu humide contrairement à *H. arator rugifrons* qui fréquente un milieu sec. Ces résultats confirment ceux obtenus sur les larves des différentes espèces trouvées sur le niveau de la toposéquence.

Les faibles captures, surtout d'*H. arator rugifrons* pourraient être dues en partie à des traitements insecticides réalisés dans les parcelles avoisinant le piège. Les parcelles en bas de pente, constituées par des rizières ne sont pas traitées.

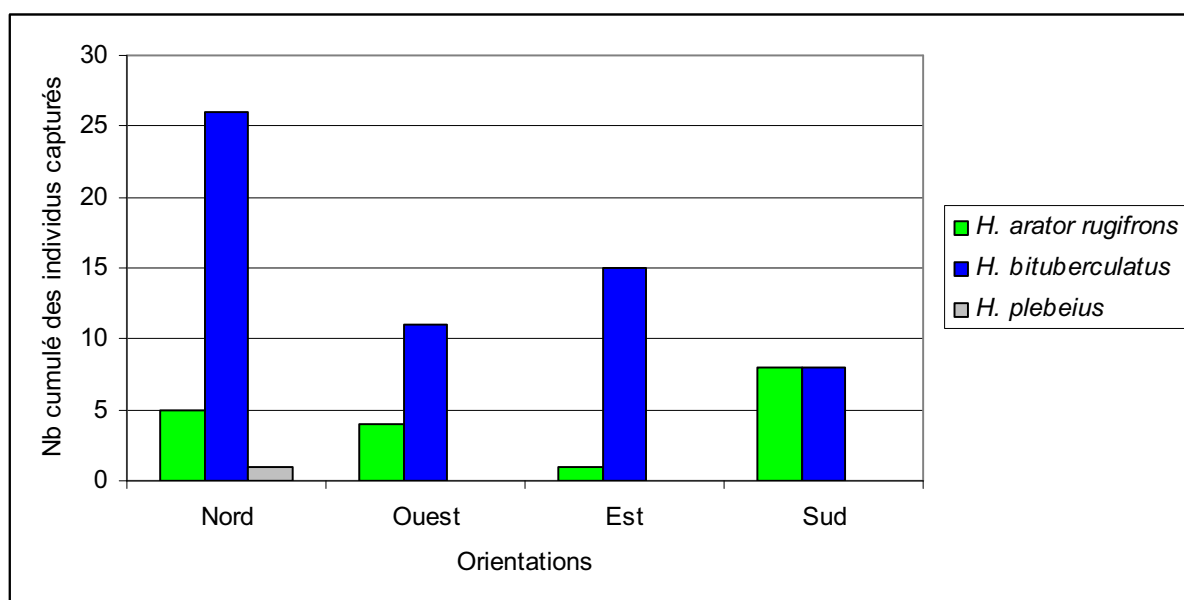


Fig. 98 Nombre cumulé des adultes des 3 espèces d' *Heteronychus* (*H. bituberculatus* ; *H. arator rugifrons* ; *H. plebeius*) capturés selon les orientations du compartiment du piège.

B.2.5.2) Cas des autres espèces de vers blancs

Outres les espèces d'*Heteronychus*, d'autres espèces de vers blancs : *Enaria* sp, *Heteroconus paradoxus*, *Serica* sp, *Paramorphochelus cornutus* et des bousiers ont été capturées lors du piégeage. Quelque soit l'orientation du compartiment du piège, l'espèce *Paramorphochelus cornutus* a été la plus capturée (Fig. 99) suivie de *Serica* sp. Aucune étude n'a encore été conduite sur ces deux espèces. Toutefois on peut supposer qu'elles ne figurent pas parmi les ravageurs des cultures. *Heteroconus paradoxus* a été capturée dans le compartiment Sud du piège correspondant à un milieu sec avec une zone de cultures pluviales et de jachère.

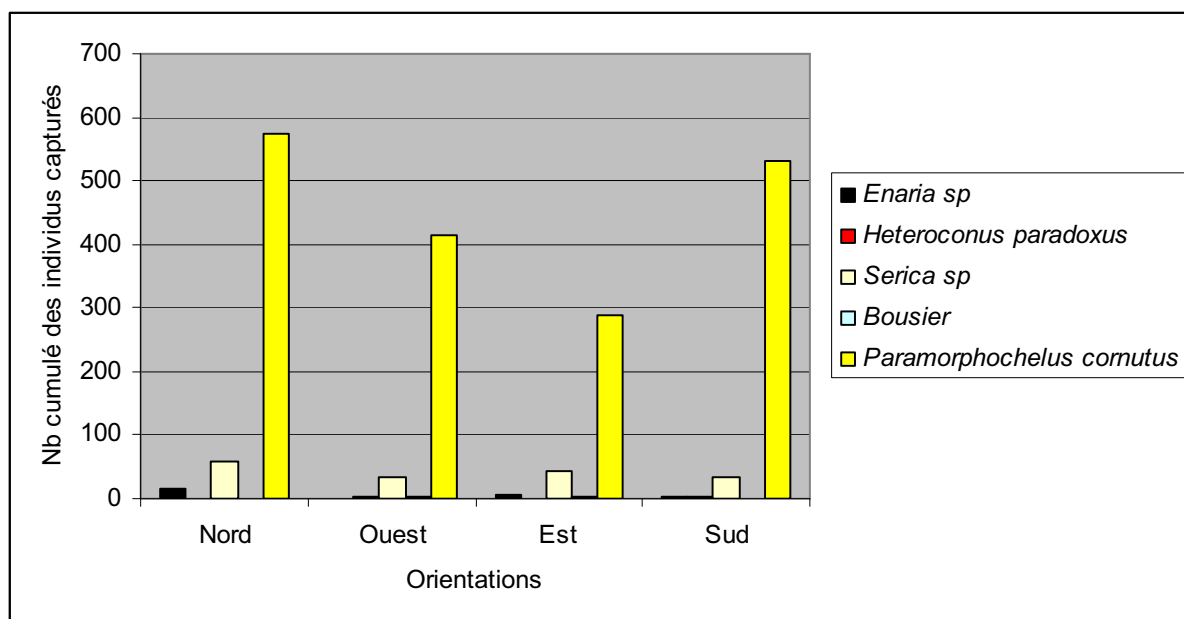


Fig. 99 Nombre cumulé des adultes des autres espèces de vers blancs capturés selon les orientations des compartiments du piège.

B.2.5.3) Influence de la pluviométrie

Les deux espèces d'*Heteronychus* (*H. bituberculatus*, *H. arator rugifrons*) sur les trois décrites par Dechambre (1986) ont été capturées au piège lumineux. Les captures ont été abondantes après les pluies et nulles durant la pluie et même jusqu'à 4 heures après l'arrêt de la pluie (Figs. 100&101). Par contre si le lendemain le temps est sec, les adultes font leur apparition dans les champs. Ceci confirme les observations au champ où la pullulation des individus est importante durant les périodes sèches après la pluie et causant des dégâts sévères sur les jeunes plants des cultures.

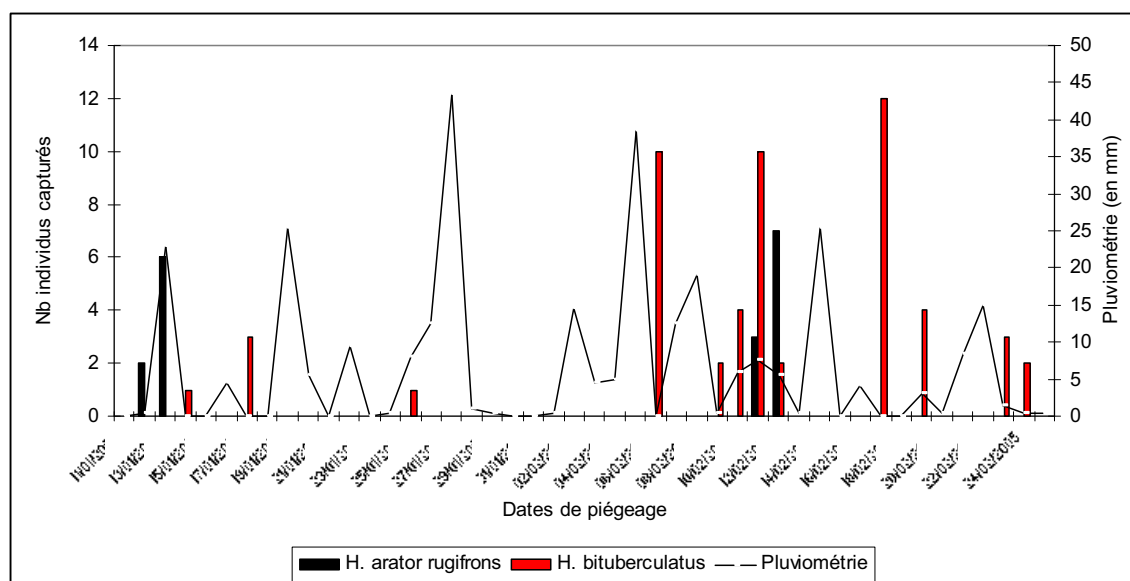


Fig. 100 Evolution du nombre d'*Heteronychus bituberculatus* et d'*Heteronychus arator rugifrons*

Paramorphochelus cornutus, une espèce de la famille des Hopliidae, est la plus fréquemment capturée en abondance tout au long du piégeage (Fig. 101). Cette espèce dont le statut n'est pas connu sur la culture mérite d'être suivi. Tout comme les autres scarabées noirs, son abondance est plus marquée juste après les périodes de pluie.

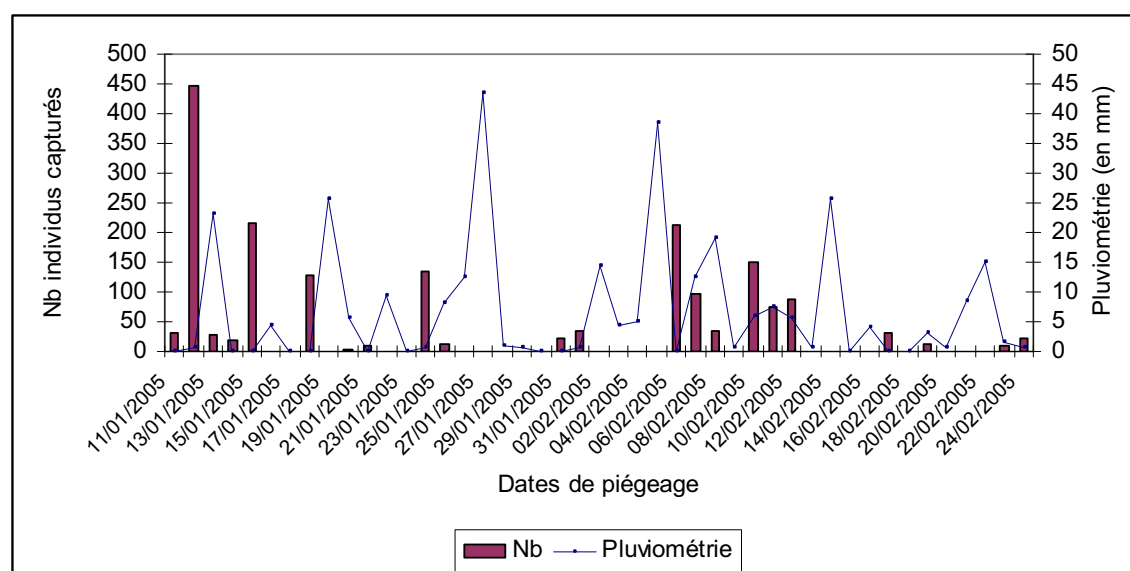


Fig. 101 Evolution du nombre de *Paramorphochelus cornutus*

C) DISCUSSION ET CONCLUSION DE LA PREMIERE PARTIE

C.1) SYSTEMATIQUE

Dans le centre de Madagascar, en riziculture pluviale de haute et de moyenne altitude, plusieurs types de « Vers blancs » peuvent être trouvés à différentes profondeurs dans le même prélèvement de sol et nous avons recensé au total 26 espèces et morpho-espèces dans l'ensemble des localités prospectées. Presque tous les « Vers blancs » se ressemblent et la relative uniformité de leurs habitus impose de recourir à des caractères morphologiques fins pour séparer les espèces. Jusqu'à présent, dans ce contexte agronomique, aucun document ne permettait d'identifier les taxa, qui demeuraient confondus, et il était impossible de distinguer les ravageurs majeurs, les ravageurs mineurs ou potentiels et les espèces potentiellement utiles, ce qui interdisait toute gestion raisonnée. Si le raster offre d'excellents caractères, suffisants dans un premier temps pour séparer les morpho-espèces et les identifier, il ne faut pas négliger pour autant les autres caractères.

Si le complexe « Ver blanc » a toujours été considéré comme ravageur important des cultures, il s'avère que certaines espèces qui le constituent n'ont pas d'incidence notable (Randriamanantsoa *et al*, 2007) ou même améliorent la structure du sol sur les Hauts Plateaux malgaches (Ratnadass *et al*, 2006). Dans d'autres publications, nous analysons l'impact de chaque espèce sur la culture et nous étudions la dynamique des populations des « Vers blancs » (Randriamanantsoa, à paraître).

Malgré des échantillonnages nombreux et répétés, certaines morpho-espèces très peu fréquentes n'ont été trouvées qu'une seule fois. Nous n'avons donc pas pu les élever ni les identifier, mais leur incidence dans le contexte agronomique des stations étudiées est négligeable. Par la réalisation de ce premier inventaire et par la mise au point de la diagnose des larves et d'une clé des espèces, nous avons défriché un terrain vierge et donné un outil de gestion à la riziculture pluviale des régions de hautes et moyennes altitudes du Centre de Madagascar.

Dans le strict cadre de la présente étude, il reste encore à déterminer huit morpho-espèces. La nomenclature des Sericidae malgaches est en cours de révision (Lacroix, comm. pers.) et aucune détermination fiable des imagos (que nous avons obtenus pour S1 et S2) n'est encore

possible. La connaissance de la biologie des espèces recensées n'est pas suffisante et mérite d'être approfondie, surtout dans le cas de celles qui ont une importance économique.

Quand nous avons identifié les espèces, des difficultés techniques rendaient impossible l'extraction d'ADN utilisable à partir des larves de Scarabaeoidea ou à partir d'imagos conservés à sec, ce qui n'est plus le cas aujourd'hui. Les futures recherches consacrées aux Vers blancs à Madagascar, sans abandonner les méthodes classiques, devront s'appuyer sur le barcoding pour contrôler la connexion larves-adultes, limitant ainsi les contraintes de l'élevage.

La riziculture pluviale étant pratiquée dans presque toutes les régions de Madagascar, y compris à basse altitude, et étant donné la variabilité des écosystèmes (altitude, relief, exposition, climat, nature du sol ...), on peut s'attendre à enrichir le recensement des espèces en prospectant ailleurs. C'est cependant dans les terres de hautes et moyennes altitudes que le riz pluvial est le plus cultivé et que le cadre de notre recherche est volontairement circonscrit. Les espèces de vers blancs que nous avons collectées au cours de cette étude constituent donc un échantillonnage assez représentatif de la faune des rizières pluviales de cette zone géographique. Pour compléter cet inventaire, c'est dans la région du lac Alaotra, d'altitude moyenne 853 m, où l'attaque des vers blancs est importante, qu'il faudrait en priorité recenser.

C.2) COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DE QUELQUES ESPECES DE VERS BLANCS- STATUT AGRONOMIQUE

Au laboratoire, Ridsdill Smith (1975) a montré que les larves de *Sericesthis nigrolineata* (Scarabaeidae) sont moins actives en présence de racines mortes que dans un sol nu et se déplacent moins dans un sol avec des racines vivantes que dans un sol nu.

Le statut organique du sol a une importance dans le régime alimentaire de la larve. Toutes les larves des espèces étudiées : *Apicencya waterloti*, *Heteroconus paradoxus*; *Heteronychus arator rugifrons*; *Heteronychus bituberculatus* et *Heteronychus plebeius* à l'exception de *Bricoptis variolosa* et *Hexodon unicolor unicolor* ont attaqué le plant de riz en présence de sol pauvre mélangé avec du fumier de bovin (SFB) et/ou du sol pauvre seul (SS). Les attaques sont plus importantes sur milieu mélangé avec du fumier de bovin. Des expériences ont montré que la matière organique agit comme phagostimulant sur le comportement alimentaire

des larves (King, 1977 ; Rabearisoa, 2006). En présence d'une source de matière organique (cas de sol pauvre avec du fumier de bovin (SFB), ce milieu constitue une source de nourriture pour la larve et stimule ainsi son appétit. La famille des Scarabaeidae présente une plasticité écologique se manifestant par la diversité des régimes alimentaires tant des larves que des adultes (Hurpin, 1971).

Les larves d'*A. waterloti* sont très mobiles. D'une manière générale, à l'exception de celle-ci, les larves se nourrissent de matière organique. Cependant *Heterocomus paradoxus*; *Heteronychus arator rugifrons*; *Heteronychus bituberculatus* et *Heteronychus plebeius* se sont révélées être des rhizophages facultatifs. Leurs larves s'attaquent rarement aux racines de riz dans les sols riches en matière organique à fort ratio C/N (dû à l'addition de tiges de riz broyées), mais peuvent évoluer de la saprophagie à la rhizophagie aussi bien en sols pauvres sans addition de matière organique, qu'en sols pauvres enrichis en matière organique avec un faible ratio C/N (par addition de fumier). En revanche, *B. variolosa* et *H. unicolor unicolor* restent toujours saprophages même en absence de matière organique car aucun dégât n'a été observé sur les plants de riz. Les larves de Cetoniidae ne se nourrissent pas des racines des plantes vivantes. Elles se nourrissent communément des pourritures dans le sol, bois mort ou de la bouse de vache (Richter, 1958). Ceci confirme nos observations car les larves de *B. variolosa* sont observées dans le fumier de bovin.

Le comportement de la larve est lié à la présence de matières, servant à leur alimentation dans le sol, constituées de substances végétales ou de la matière organique. L'importance des dégâts sur un milieu enrichi en fumier de bovin est importante dans le cas de certaines espèces. Ces deux expérimentations montrent que le régime alimentaire des larves de vers blancs diffère énormément (différences significatives dans la rhizophagie). Si certaines sont rhizophages strictes (cas d'*A. waterloti*), d'autres montrent une rhizophagie facultative, dépendant de la présence de la matière organique dans le milieu et alors que d'autres restent toujours saprophages même si la matière organique fait défaut.

Ainsi, ces résultats confirment que c'est à tort que les larves d'*H. unicolor unicolor* sont considérées comme des ravageurs par les agriculteurs, alors qu'elles devraient être considérées comme utiles car elles jouent un rôle de recyclage dans l'écosystème (Ratnadass et al, 2006).

Jusqu'à présent, l'effet supprimeur des dégâts de vers blancs en SCV avait surtout été attribué à un effet indirect via la biodiversité faunistique (changement des équilibres en faveur des espèces saprophages ou prédatrices), ou via des mécanismes de tolérance, compensation ou

résistance induite de la plante par une nutrition plus équilibrée (trophobiose). Or, le changement de statut des vers blancs (i.e leur passage de la fonction d'organismes nuisibles à celle d'organismes utiles) selon le statut organique du sol, ouvre de nouvelles perspectives de gestion des systèmes rizicoles pluviaux, en particulier dans le cas d'*H. arator rugifrons*, espèce pour laquelle la relation aux racines de riz diffère significativement en fonction du statut organique du sol.

Dans la majorité des cas, les vers blancs sont considérés comme des ravageurs des cultures pluviales à Madagascar. Parmi ceux-ci la famille des Dynastidae, Melolonthidae et Aphodidae sont les plus à redouter compte tenu des dégâts qu'ils provoquent sur la culture soit en dilacérant le collet des jeunes plants (attaque des adultes) ou en s'attaquant aux systèmes racinaires des plants (attaque des larves).

Parmi les espèces collectées les suivantes sont donc considérées comme des ravageurs occasionnant des dégâts sur la culture. *Heteronychus arator rugifrons*, *Heteronychus plebeius*, *Heteronychus bituberculatus*, *Heteronychus minutus*, *Heteronychus rusticus* et *Heteroconus paradoxus* (Dynastidae) sont les plus fréquemment trouvées ainsi que *Hoplochelus betanimena*, *Apicencya waterloti*, *Enaria melanictera* (Melolonthidae). Au champ, les dégâts de ces Melolonthidae ont été observés sur riz pluvial à partir du stade plein tallage de la culture

D'une manière générale, quelle que soit l'espèce, nous avons remarqué que la terre seule ne constitue pas une source de nourriture pour la larve. Elle préfère une alimentation constituée de matière organique (fumier de bovin) et/ou de substances végétales (plant de riz) mélangées avec du sol selon les espèces.

C.3) BIOTOPE DES AUTRES ESPECES DE VERS BLANCS

Paramorphochelus cornutus, espèce, dont le statut agronomique n'est pas encore connu, reste l'espèce la plus abondante en hauteur de la toposéquence. Aucune larve de cette espèce n'a été cependant retrouvée aussi bien en bas-fonds qu'en mi-hauteur de la toposéquence. En revanche, *Enaria melanictera* et *Apicencya waterloti* fréquentent les milieux en mi hauteur avec un sol sec en surface mais un peu humide en profondeur, avec une végétation composée en majeure partie de graminées. Des attaques importantes d'*E. melanictera* ont été localisées à Antanikatsaka sur du riz pluvial cultivé sur le flanc d'une colline. En revanche, depuis

quelques années, les attaques d'*A. waterloti* ont été très sévères sur riz pluvial à Andranomanelatra. Les larves de deux espèces sont les plus dangereuses car elles s'attaquent au système racinaire des plants même âgés (stade montaison et/ou épiaison du riz pluvial). Les stades L2 et L3 sont les plus à redouter. Ces espèces figurent parmi les ravageurs des cultures pluviales.

Les milieux en général humides, sont favorables au développement de la population d' *H. bituberculatus*. Ceci confirme les résultats obtenus par Rajaonarison & Rakotoarisoa (1994) au lac Alaotra quand à l'habitat de cette espèce.

Dans la majorité des cas le biotope des larves de cétoines est constitué d'un milieu riche en matière organique dont le fumier de bovin, compost, terreaux mais certaines consomment du bois très décomposé (*Cetonia aurata*). Ce sont des espèces saproxylophages. Des larves de *Bricoptis variolosa* et *Celidota parvula*, ont été principalement collectées en hauteur de la toposéquence. Les larves de ces espèces sont indifférentes à la culture mais peuvent causer des dégâts occasionnels sur le système racinaire des plants de par leur déplacement dans le sol. Toutefois ces dégâts ne sont pas à craindre.

D'une façon générale, la diversité et la population des espèces sont plus abondantes dans les milieux secs par rapport aux zones humides. En effet, ces milieux sont défavorables au développement de la population. Par ailleurs, la population larvaire des différentes espèces varie selon le temps. Dans notre cas, la densité des espèces trouvées en février est moindre par rapport à celle de juin. En février, la population est généralement constituée d'œufs et/ou très jeunes larves L1 (stades plus sensibles) alors qu'en juin on a surtout des larves âgées (L2 et L3).

DEUXIEME PARTIE
DIAGNOSE DES DIFFERENTS STADES
D'HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS
(FAIRMAIRE, 1871) ET BIOLOGIE

I) METHODOLOGIE

I.A) DIAGNOSE DES DIFFERENTS STADES

La méthodologie a été la même que celle utilisée dans l'étude de la systématique des larves de vers blancs.

I.B) BIOLOGIE

Tous les stades préimaginaux d'*H. arator rugifrons* se passent dans le sol. Sur les Hautes Terres malgaches, les œufs d'*H. arator rugifrons* sont pondus entre 0 et 10 cm de profondeur tandis que les larves se trouvent entre 10 cm et 25 cm de profondeur selon le stade de leur développement. Nous avons cherché à connaître les durées de développement des stades préimaginaux pour deux températures données: 18°C et 25°C, la première correspondant aux températures enregistrées dans le sol entre 0 à 5 cm et 15 à 25 cm de profondeur selon la saison. La température de 25°C nous a permis de faire une comparaison de la durée du cycle pour les deux températures considérées. Selon King (1981a), le seuil de développement des larves L1 est de 15°C tandis que les températures trop élevées (>30°C) ne sont pas favorables au développement des larves de stade L2 d'*H. arator*.

Les élevages ont été conduits dans une étuve réfrigérée (Fig. 105).

I.B.1) L'IMAGO

I.B.1.1) Matériel animal

Les adultes utilisés dans l'étude proviennent d'une part des émergences au laboratoire et d'autre part de collectes faites au champ.

I.B.1.2) Conduite de l'élevage

Dans chaque cuvette de dimension 25 cm de côté sur 15 cm de profondeur, de jeunes plants de riz âgés de 8 à 10 jours ont été repiqués sur de la terre stérilisée dans laquelle les adultes

ont été élevés pour les faire pondre (Fig. 103). Ces plants serviront de nourriture pour les adultes.

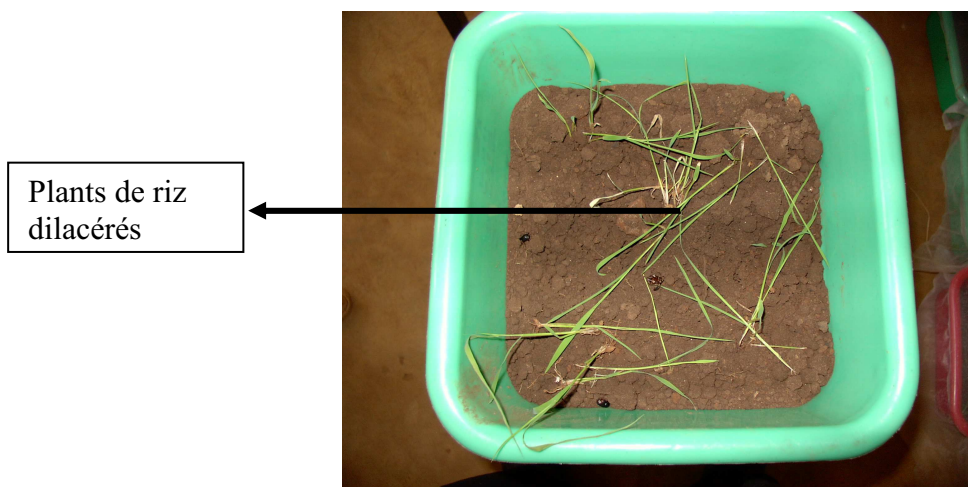


Fig. 102 Plants de riz dilacérés par les adultes (Source auteur)

A température ambiante du laboratoire (20 à 23°C), six cuvettes renfermant chacune six couples d'adultes issus des émergences à partir des larves élevées au laboratoire ont été suivis. Chaque cuvette est recouverte par un tulle blanc à maille fine pour éviter l'évasion des adultes (Fig. 104). Ces adultes sont gardés en élevage jusqu'à leur mort.



Fig. 103 Jeunes plants de riz (10 à 15 jours)
(Source auteur)



Fig. 104 Cuvette avec des adultes (Source auteur)

Dispositif d'élevage des adultes :

Tab. 12 Température ambiante moyenne enregistrée en 2007 au laboratoire

Mois	Février	Mars	Avril	Mai	Juin	Juillet	Aout	Septembre
Température moyenne (°C)	24,10 ± 1,01	23,89± 0,72	22,71 ± 0,51	21,36± 0,67	19,07 ± 2,20	18,29 ± 1,03	18,30 ± 1,13	20,68 ± 1,52

I.B.1.3) Contrôle et observations

Tous les jours, les cuvettes ont été contrôlées en triant la terre sur un carton et en recherchant soigneusement les œufs. Les plants de riz sont remplacés par de nouveaux grâce à un semi échelonné. Dans la majorité des cas, les jeunes plants sont complètement dilacérés (Fig. 102). L'humidité relative dans les élevages est de 60-80%. En effet un milieu trop sec affecte aussi bien le développement de la plante que celui de l'insecte. Tous les œufs obtenus étaient comptés, mis individuellement en incubation et suivis.

Pour les stades préimaginaux les élevages ont été conduits individuellement dans de petites boîtes rectangulaires en plastique transparent de dimension L x l x h (6 x 4,5 x 4,5 cm) munies d'un couvercle perforé, avec le même mélange de débris de végétaux secs, composés de graminées non spécifiques et de terre partiellement stérilisée (Fig. 106). Tout le matériel avait été stérilisé au préalable dans une étuve à 72°C. Chaque boîte, étiquetée, était remplie aux 2/3 de son volume et placée dans une étuve réfrigérée, réglée à la température d'étude.



Fig. 105 Etuve réfrigérée
(Source auteur)



Fig. 106 Boîte d'élevage
(Source auteur)

I.B.2) L'ŒUF

Chaque œuf a été suivi depuis sa ponte jusqu'à l'émergence de l'imago. A chaque contrôle quotidien, chaque œuf était pesé et mesuré individuellement. La date d'éclosion de chaque œuf était notée.

I.B.3) LES LARVES

La durée des différents stades [larve du 1^{er} (L1), du 2^{ème} (L2) et du 3^{ème} stade (L3)] a été suivie. Tous les jours, chaque larve a été pesée individuellement. La pesée était effectuée à l'aide d'une balance de précision au 0,1 mg (Fig. 107).



Fig. 107 Balance de précision (source auteur)

Le changement du milieu était réalisé tous les cinq jours pour les L1 car elles ne sont pas voraces. Par contre, pour les L2 et L3 qui sont beaucoup plus voraces, le changement a été fait tous les trois jours. A chaque contrôle, l'humidité relative du milieu était vérifiée et a été maintenue à 60% au minimum. Par contre, une saturation n'est pas favorable au développement larvaire.

- Mesure de la taille de la capsule céphalique et de la taille des larves

La longueur du corps et la taille de la capsule céphalique des larves du stade L1 au stade L3 (mesurée dans sa plus grande largeur) ont été mesurées à l'aide d'un micromètre. Pour la capsule céphalique, les mesures ont été réalisées sur des larves élevées à 18°C et 25°C. Pour la taille, les mesures étaient faites sur des larves élevées à 25°C.

I.B.4) LA NYMPHE

Tous les jours, chaque nymphe a été observée et pesée individuellement, jusqu'à l'émergence de l'imago.

II) RESULTATS

II.A) DIAGNOSE D'*HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS*

II.A.1) L'IMAGO

La description complète de l'espèce a été faite par Dechambre (1986) (Fig. 108, 109 et 110).
A l'émergence l'adulte présente une coloration rougeâtre virant progressivement au noir luisant après 4 à 5 jours.

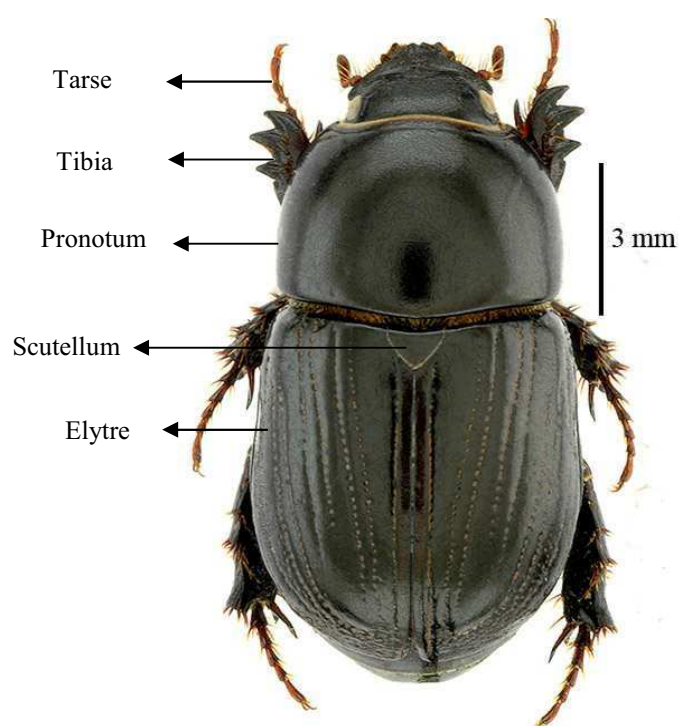


Fig. 108 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

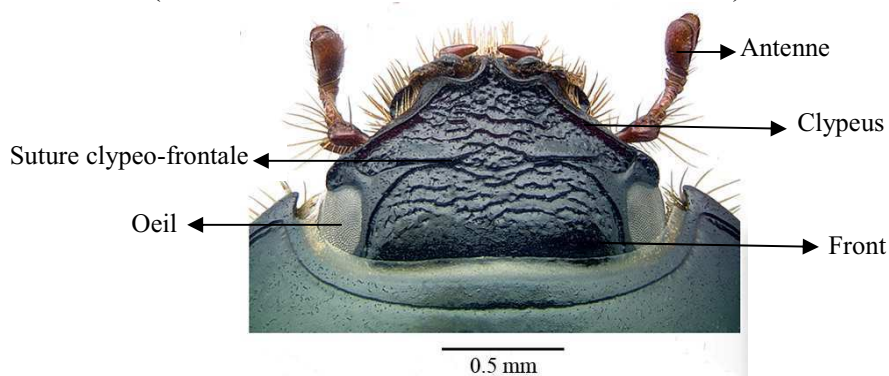


Fig. 109 Tête
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)



Fig. 110 Edéage (Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)
Vue de face

II.A.2) L'ŒUF

A l'oviposition, l'œuf est de forme ellipsoïdale (Fig. 111). Sa taille moyenne est de 1,87 mm de long (min= 1,44 mm ; max= 1,96 mm) sur 1,25 mm de large (min= 1,06 mm) ; max= 1,68 mm) et sa couleur est d'un blanc translucide. A partir du 8^{ème} jour, sa forme devient de plus en plus sphérique (1,86 mm de diamètre) et sa couleur d'un blanc laiteux alors que le chorion devient de plus en plus dur. Ces changements correspondent à la mobilisation du vitellus et au début de l'organogenèse. Au bout de 14 jours, la couleur de l'œuf est rose attestant la présence d'un embryon. Sa forme et sa taille ne changent pas.



Fig. 111 Œufs à l'oviposition (Source auteur)

II.A.3) LA LARVE

Sa couleur est blanche et sa taille varie de 12 à 23 mm de longueur (Fig. 112), selon le stade de développement. Les descriptions ont été réalisées sur des stades L2 et L3 mais aucun caractère différenciant les deux stades n'a été observé. Les larves présentent les mêmes caractères.



Fig. 112 Habitus
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Tête

La tête est de couleur brun clair. L'épicrâne porte deux soies dorso épicroaniales et 5 soies latéro externes. Le front présente quatre soies frontales antérieures, deux soies frontales postérieures et deux soies dans l'angle frontal. Le clypeus est transverse, avec une soie clypéale externe et une soie clypéale antérieure médiane (Fig. 113)

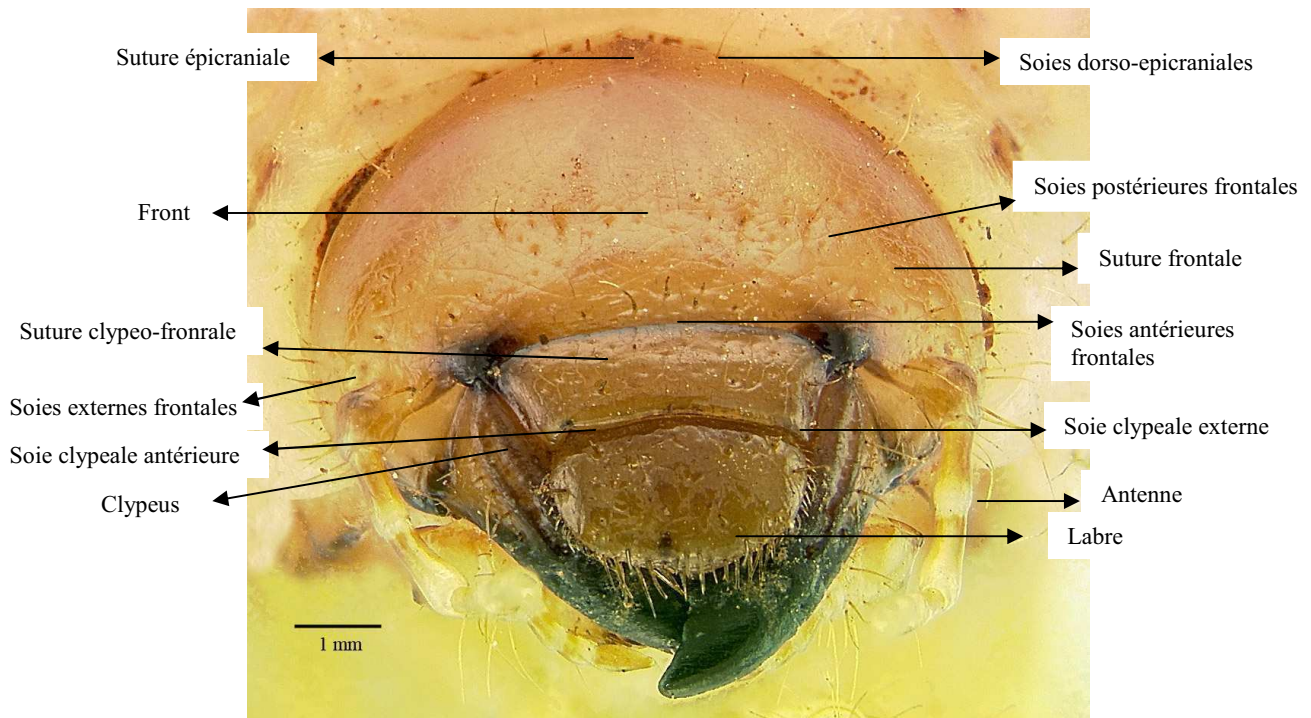


Fig. 113 Tête
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Antenne.

L'article II est un peu plus long que les autres (les longueurs respectives des articles sont : I = 1mm ; II = 1,3 mm ; III = IV = 1,1mm). L'avant-dernier article porte une aire sensorielle apico-latérale. Le dernier article antennaire est formé de trois plages sensorielles : deux ventrales et une grande plage dorsale (Fig. 114).

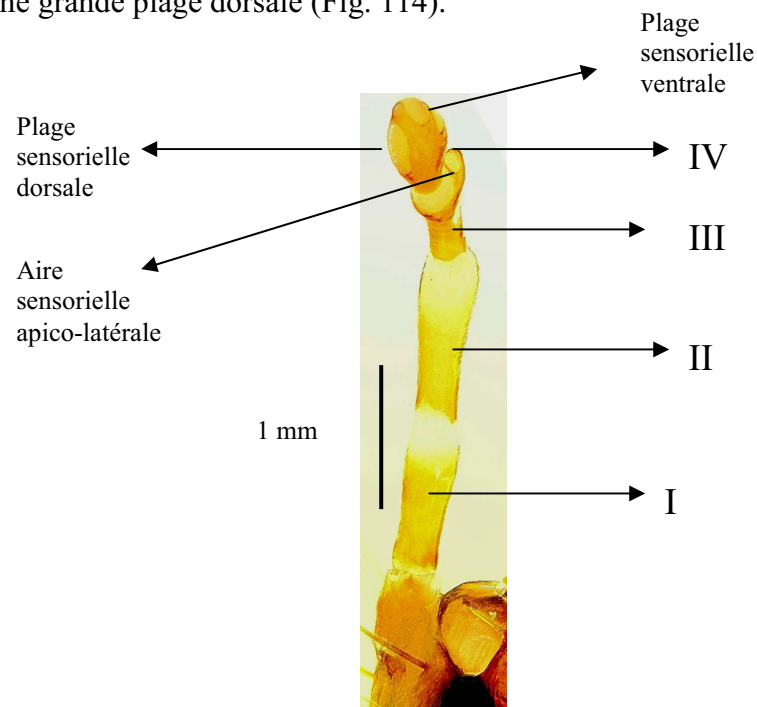


Fig. 114 Antenne
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Labre.

Il est transverse et asymétrique. La zone médiane du bord antérieur est à peine saillante mais légèrement différenciée du côté droit, avec quatre soies externes et deux soies internes. De part et d'autre, on a cinq soies latéro-antérieures externes et deux longues soies latéro-antérieures internes, puis une longue soie latérale. Deux longues soies labro-internes en avant du milieu. Quatre soies postérieures (en deux groupes de deux soies) (Fig. 115).

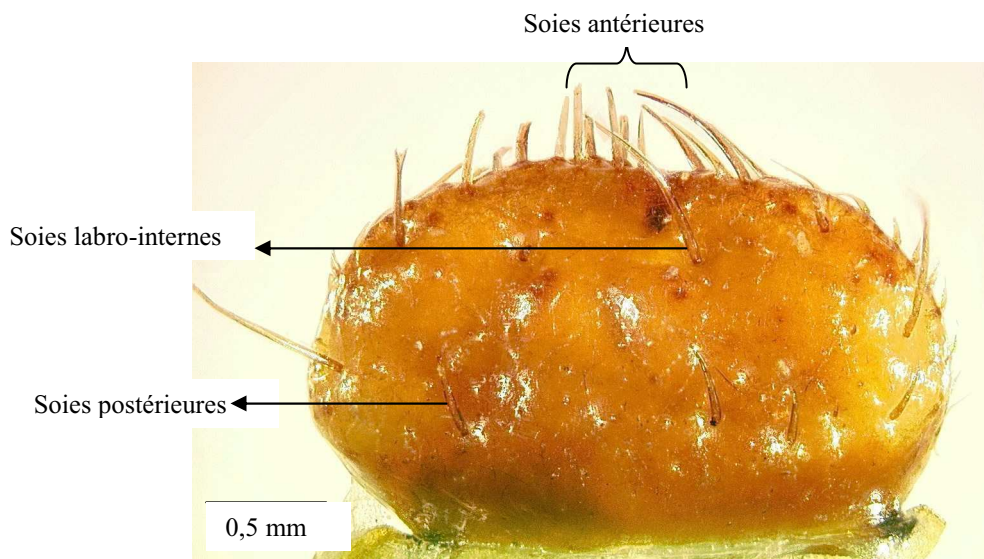


Fig. 115 Labre
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Epipharynx

L'haptomère est entier avec une forte pointe sclérifiée relevée arrondie. L'aire pédiale est glabre. Le chaetoparia est dissymétrique, à rangs concentriques de soies épaisses convergeant vers l'aire pédiale, plus longues et plus denses du côté gauche, plus courtes et plus dispersées du côté droit. L'acanthoparia est formé de 11 à 13 courtes soies lamelliformes s'incurvant graduellement vers l'avant. Le plegmatium et le proplegmatium sont absents (Fig. 116).

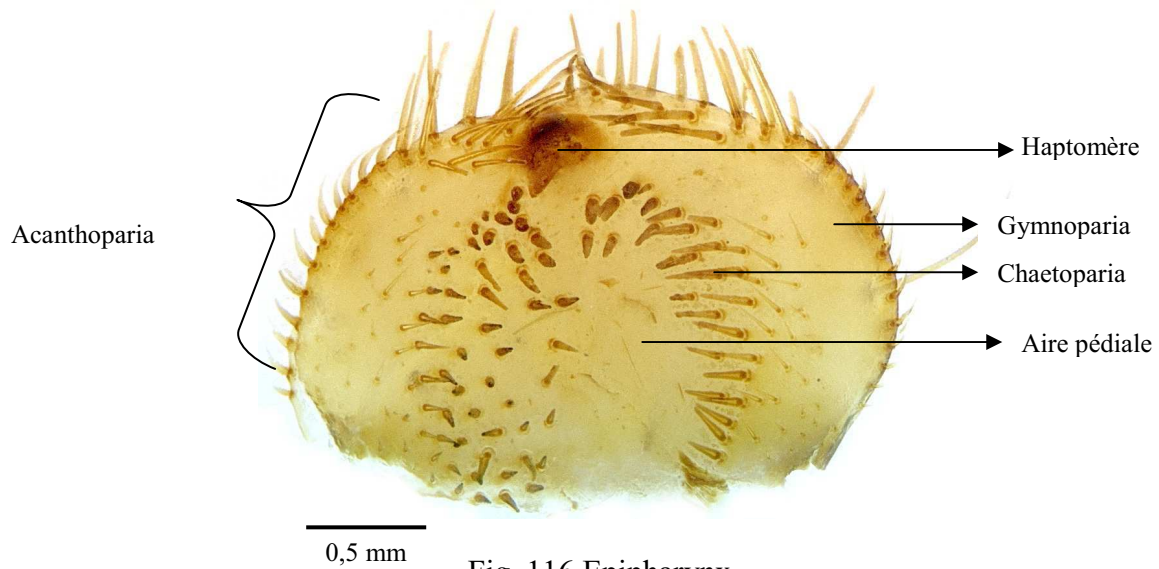


Fig. 116 Epipharynx

(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Mandibule (Figs. 117 & 118)

L'aire scissoriale de la mandibule gauche comporte une forte dent apicale (S1) et la seconde dent scissoriale (S2) est plus ou moins émoussée. L'aire scissoriale de la mandibule droite présente deux dents (S1) et (S2) obtuses presque également développées. La mandibule gauche comporte sept à huit soies baso-latérales, deux soies dorso-externes écartées et cinq à six soies dorso-molaires. La mandibule droite a six soies baso-latérales, deux soies dorso-externes écartées et cinq à six soies dorso-molaires. Sur la face ventrale des deux mandibules, on note la présence d'une aire stridulatoire composée de 21 à 23 bourrelets parallèles transverses (Fig. 119).

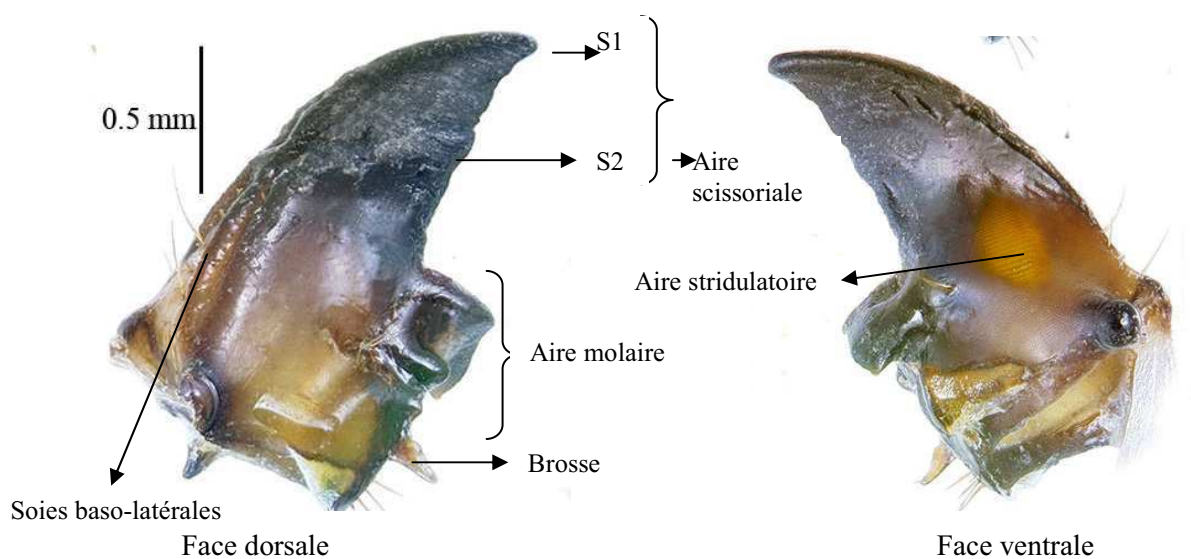


Fig. 117 Mandibule gauche

(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

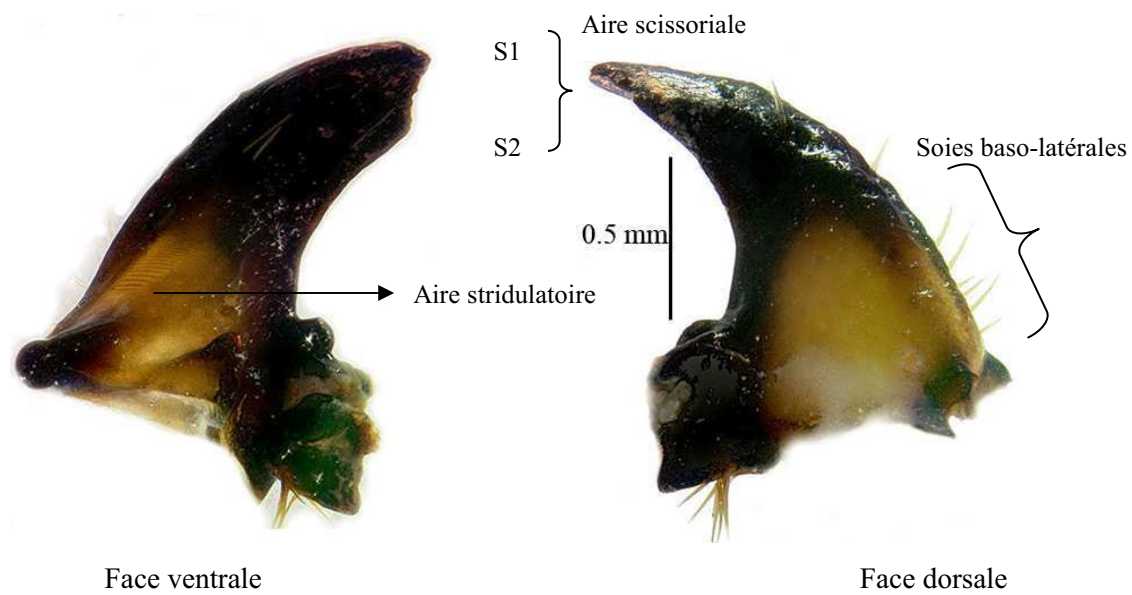


Fig. 118 Mandibule droite
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

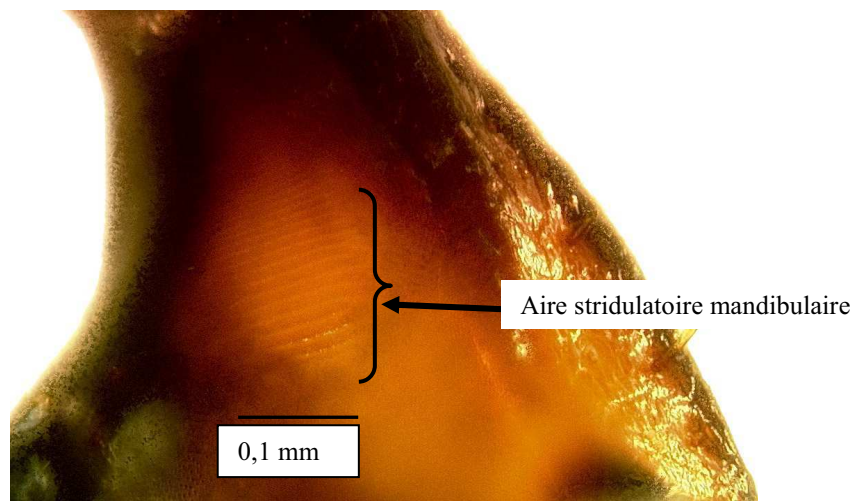


Fig. 119 Aire stridulatoire mandibulaire (face ventrale)
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Maxille (Fig. 120)

La galea et la lacinia sont soudées. La lacinia comporte un uncus tridenté. La galea a un uncus sclérifié. Sur la face dorsale de la maxille, on a une aire stridulatoire composée de 7 à 10 + 1 dent aux bords arrondis émoussés (Fig. 121).

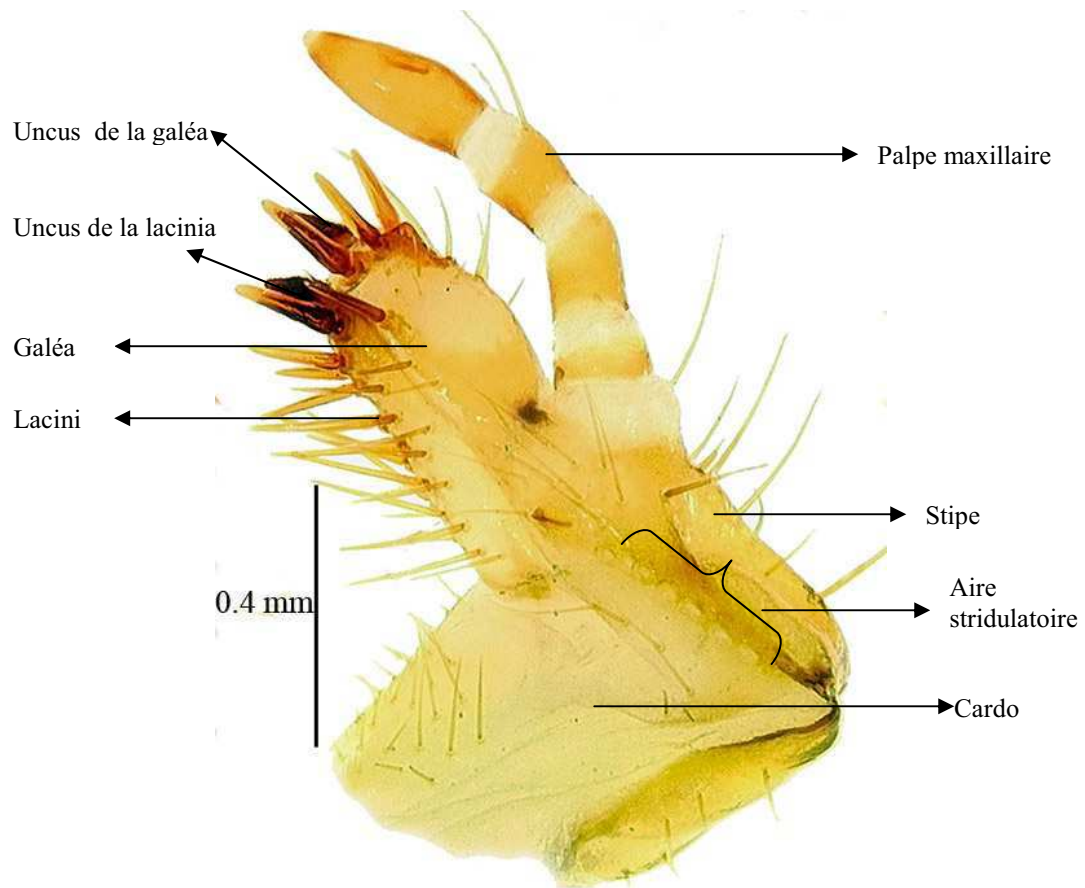


Fig. 120 Maxille (face dorsale)
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

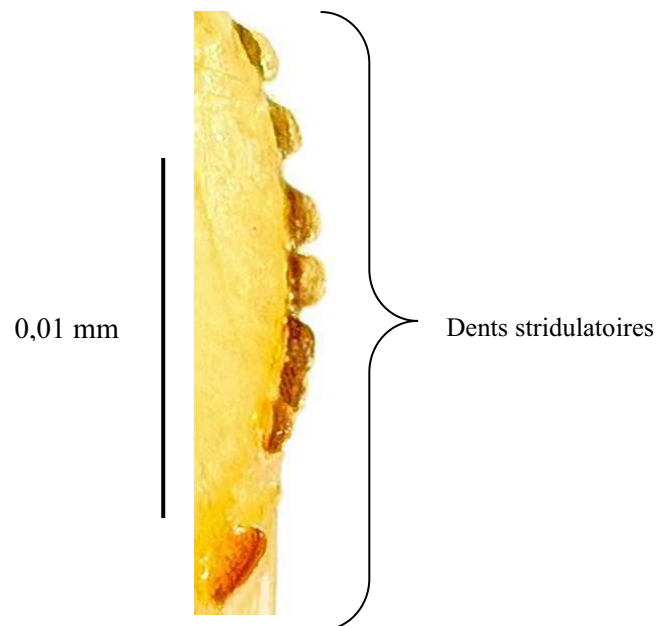


Fig. 121 Aire stridulatoire maxillaire
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Hypopharynx

Les glosses comportent deux touffes de longues soies apicales et de courtes et fortes soies à la base, en avant des oncyli. Ces derniers sont transverses et ont une dent sclérifiée postérieure de forme subtriangulaire et une forte dent antérieure, sclérifiée et dressée (Fig. 122).

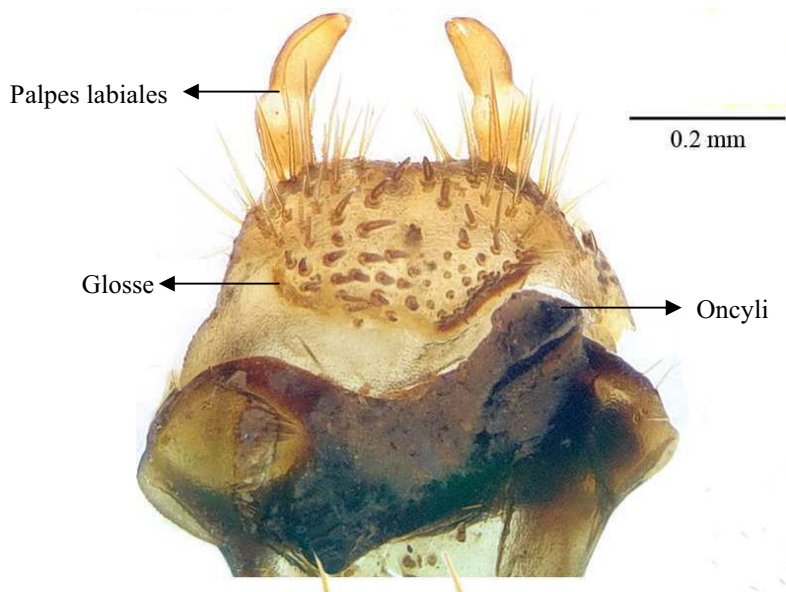


Fig. 122 Hypopharynx
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Thorax

Pattes

Elles sont longues, de longueur croissante de P1 à P3 et présentent une structure analogue : coxa, trochanter, fémur, tibiotarse, griffe longue, aigüe, incurvée et sclérifiée à l'apex (Fig. 123)

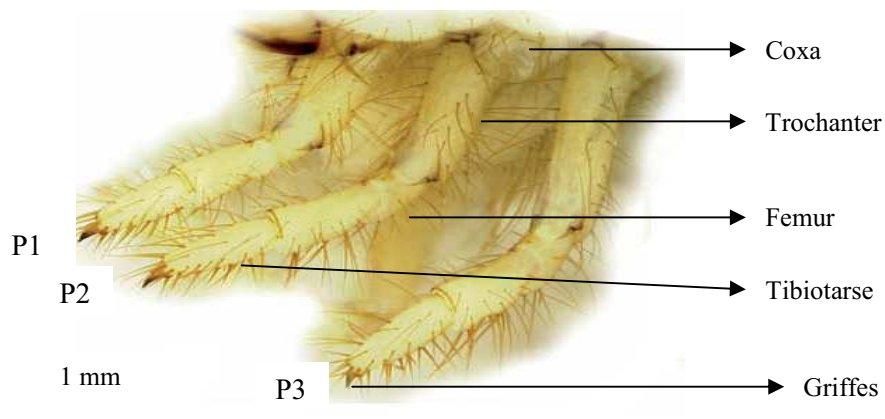


Fig. 123 Patte
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

Abdomen

Raster

La fente anale est transverse, éloignée de l'apex abdominal. Du côté dorsal de la fente anale, on observe deux plages de courtes et fortes soies inclinées vers le centre, séparées par un septum glabre bien délimité. Du côté ventral de la fente anale, et séparée de celle-ci par une étroite bande glabre, on a une rangée transverse de longues soies dirigées vers le milieu et absentes en zone centrale. Le teges rassemble un groupe de courtes et fortes soies épineuses (Fig. 124).

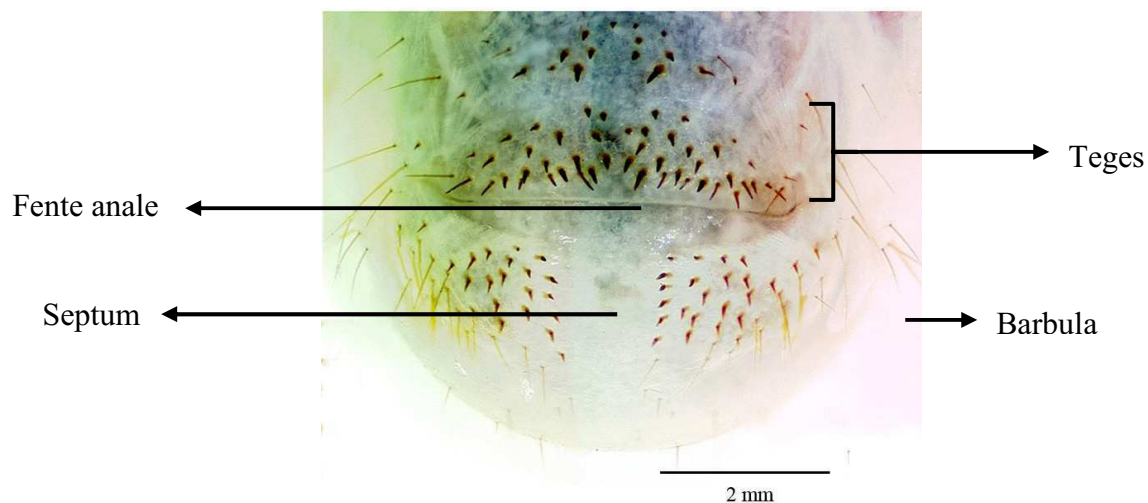


Fig. 124 Raster
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

II.A.4) LA NYMPHE

Sa couleur est jaunâtre (Fig. 125). Sa taille varie de 14 à 17 mm. Le pronotum est régulièrement arrondi, deux fois plus large que long. Le thorax est aussi large que l'abdomen. On observe quatre paires de stigmates abdominaux ovales à bords sclérifiés. La première paire est cachée dans une cavité sous les ptérothèques. Par ailleurs, on a cinq paires de lèvres incurvées sclérifiées. La première est plus petite que les suivantes, formant dix cavités disposées de part et d'autre de la ligne médiane, situées entre les tergites visibles I/II, II/III, III/IV, IV/V et V/VI. Le dernier segment abdominal présente un apex bifide émoussé formé de deux lobes qui se touchent. Chaque lobe est couvert d'une touffe dense de poils dressés à l'apex.

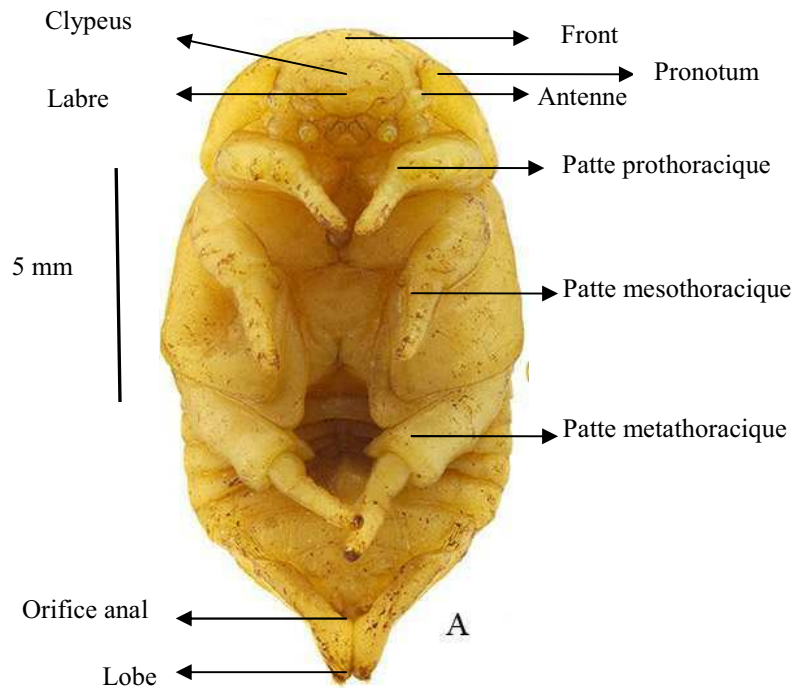


Fig. 125 Nymphé
(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

II.B) BIOLOGIE

II.B.1) DUREE DE DEVELOPPEMENT

II.B.1.1) Selon la température

a) A 18°C

Tab. 13 Durée de développement (en jours) et taux de survie des stades pré-imaginaux d'*H. arator rugifrons* à 18°C

	Durée en jours					
	Stade embryonnaire	Stade larvaire L1	Stade larvaire L2	Stade larvaire L3	Stade nymphal	Developpement pré-imaginal (œuf à adulte)
Moyenne	36,40	46,06	45,95	97,90	35,86	251,40
Min	22	37	31	83	33	239
Max	49	60	68	128	38	271
Ecart-type	±5,32	±7,25	±5,05	±9,35	±1,86	±11,93
Taux de survie		61,03%	91,48%	45,51%	35%	100%
Effectifs suivis	77	47	43	20	7	7

D'une manière générale, à 18°C, la durée d'incubation des œufs a varié de 22 à 49 jours avec une moyenne de 36,40 jours. Les durées des 3 stades L1, L2 et L3 sont en moyenne de 46,06 jours, 45,95 jours et 97,90 jours respectivement. La durée du développement larvaire a varié de 151 à 256 jours avec une moyenne de 189,91 jours. La durée du stade L3 est la plus longue. En revanche, une telle variation n'a pas été observée au stade nymphal (min= 33 jours ; max= 38 jours). La période nymphale dure en moyenne 35,86 jours. La durée du cycle de l'œuf à l'adulte est de 251,40 jours en moyenne, mais pouvant varier de 239 à 271 jours (Tab. 13).

b) A 25°C

Tab. 14 Durée de développement (en jours) et taux de survie des stades pré-imaginaux d'*H. arator rugifrons* à 25°C

	Stade embryonnaire	Stade larvaire L1	Stade larvaire L2	Stade larvaire L3	Stade nymphal	Developpement pré-imaginal (œuf à adulte)
Moyenne	14,73	29,31	40,35	58,83	18,36	164,67
Min	11	22	31	41	16	142
Max	18	38	48	74	23	178
Ecart-type	± 1,88	± 3,20	± 4,45	± 11,69	± 1,80	± 11,60
Taux de survie		78,78%	88,46%	52,17%	91,66%	90,9%
Effectifs suivis	33	27	23	12	11	10

A 25°C, le taux d'éclosion des œufs est de 78,7%. Le reste n'a pas pu éclore à cause de leur éclatement lors de la manipulation sous la loupe binoculaire comme dans le cas précédent.

Parmi les larves L1 suivies, seule la moitié ont pu arriver au stade L3. En effet, on a observé à peu près les mêmes tendances de mortalité qu'à 18°C mais avec un taux de survie un peu plus élevé à 25°C lors du passage du stade L2 en L3. Cette mortalité s'est produite de façon naturelle, car nous n'avons pas observé d'autres facteurs de mortalité telle la prédation par des acariens. La stérilité des œufs a été très faible : 1,21%). A partir du stade L3, les mortalités sont faibles. Le taux de survie des œufs jusqu'à l'émergence est de : 27,27%. Ce taux est largement meilleur qu'à 18°C.

La durée des trois stades larvaires est en moyenne de 129 jours, se répartissant comme suit : 29,31 jours pour le stade L1, 40,35 jours pour L2 et 58,83 jours pour L3. La durée du stade L3 est la plus longue variant de 41 à 74 jours. En revanche, la durée du stade nymphal varie de

16 à 23 jours avec une moyenne de 18,36 jours. La durée de développement de l'œuf à l'imago varie de 142 à 178 jours (Tab. 14).

II.B.1.2) Selon la température et le sexe

Même si les effectifs suivis aussi bien pour les mâles et femelles ont été faibles, nous avons pu quand même faire ressortir la durée de développement de chaque sexe. Les tableaux suivants montrent la durée de développement des stades pré-imaginaux des mâles et femelles d'*H. arator rugifrons*.

a) A 18°C

La différenciation des sexes au niveau larvaire n'est pas toujours évidente. Nous n'avons pas pu identifier des critères morphologiques entre les mâles et femelles. La durée des différents stades de développement ci-dessous sont obtenus à partir des individus qui ont pu être suivis de l'œuf à l'émergence de l'adulte (Tab.15).

- Cas des mâles

Tab. 15 Durée de développement (en jours) des stades préimaginaux des mâles d'*H. arator rugifrons* à 18°C (Nombre d'individus observés = 4)

	Stade embryonnaire	Stade larvaire L1	Stade larvaire L2	Stade larvaire L3	Stade nymphal	Developpement pré-imaginal (œuf à adulte)
Moyenne	33,50	43,50	45,75	98,00	35,50	259,50
Min	32	41	43	89	33	248,00
Max	35	45	48	111	37	271

- Cas des femelles

Tab. 16 Durée de développement (en jours) des stades préimaginaux des femelles d'*H. arator rugifrons* à 18°C (Nombre d'individus observés = 3)

	Stade embryonnaire	Stade larvaire L1	Stade larvaire L2	Stade larvaire L3	Stade nymphal	Developpement pré-imaginal (œuf à adulte)
Moyenne	31,33	41,67	43,67	93,00	36,00	243
Min	23	41	40	95	34	239
Max	37	43	47	97	38	247

A 18°C, nous avons remarqué que les durées de développement des stades pré-imaginaux pour les femelles d'*H. arator rugifrons* sont légèrement plus courtes que celle des mâles mais la moyenne n'est guère différente. La durée de développement de l'œuf à l'imago varie de 239 à 247 jours chez la femelle et elle est de 248 à 271 jours chez le mâle (Tab. 15&16). Nous avons noté une grande variation, due au nombre faible des effectifs observés.

b) A 25°C

- Cas des mâles

Tab. 17 Durée de développement (en jours) des stades pré-imaginaux des mâles d'*H. arator rugifrons* à 25°C (Nombre d'individus observés = 3)

	Stade embryonnaire	Stade larvaire L1	Stade larvaire L2	Stade larvaire L3	Stade nymphal	Developpement pré-imaginal (œuf à adulte)
Moyenne	15,50	31,33	38,67	51,33	16,76	153,67
Min	14	27	35	51	15	126
Max	18	38	41	74	19	174

-Cas des femelles

Tab. 18 Durée de développement (en jours) des stades pré-imaginaux des femelles d'*H. arator rugifrons* à 25°C (Nombre d'individus observés= 7)

	Stade embryonnaire	Stade larvaire L1	Stade larvaire L2	Stade larvaire L3	Stade nymphal	Developpement pré-imaginal (œuf à adulte)
Moyenne	16,43	30,14	43,14	56,29	17,71	163,86
Min	15	25	39	41	15	142
Max	18	36	48	70	23	178
Ecart-type	±1,40	±3,29	±3,80	±12,82	±1,41	±12,72

A 25°C, la durée de développement des stades préimaginaux des mâles et femelles est presque identique si on regarde les variations de la durée de chaque stade. Cependant, la durée de développement de l'œuf à l'imago est plus longue chez la femelle avec 10 jours de différence par rapport à celle des mâles. Toutefois, il serait nécessaire d'avoir des effectifs plus nombreux pour confirmer ce résultat.

Aussi bien pour les mâles que les femelles, à la même température, la durée nymphale est identique à un jour près (Tab. 17 & 18)

II.B.1.3) Mortalité des larves et des nymphes

A 18°C, 77 œufs ont été suivis avec un taux d'éclosion de 61,03%. Le reste est dû à l'artefact. Les œufs sont très fragiles jusqu'au 8^{ème} jour de la ponte car le chorion n'étant pas encore durci. Le taux de stérilité des œufs était très faible (1,25%).

La mortalité entre le passage des stades L1 en L2 est faible car 90% des larves L1 ont pu atteindre le stade L2. En revanche, la moitié des larves L2 n'ont pas pu arriver au stade L3 et que seul le tiers des larves L3 ont pu aboutir au stade nymphal. Par ailleurs, le taux de mortalité nymphal est faible. Le taux de survie de l'œuf jusqu'à l'émergence de l'imago est de : 9,09% alors que celui des larves à la nymphe est de 14,89%.

Les principales causes de mortalité des larves sont dues à leur état physiologique. En effet, à l'approche et après la métamorphose les larves sont très fragiles. Leur corps devient plus mou et leur déplacement dans le milieu d'élevage, constitué débris secs de végétaux mélangés avec de la terre, provoque certainement des petites blessures sur leur corps. La mortalité la plus spectaculaire est observée au passage du stade L2 en L3 où les stades sont très mobiles. Par ailleurs, pour le cas des larves élevées à 18°C, certaines n'arrivent pas à faire leur mue (Fig. 126) et que même si l'imago avait pu émerger, il pouvait présenter une malformation. Les pigments n'étaient pas bien formés. L'imago présentait une coloration rouge brunâtre, même 4 à 5 jours après son émergence (Fig. 127).



Fig. 126 Problème de sortie de l'exuvie



Fig. 127 Malformation de l'imago (problème de pigmentation)

(Source : R. Randriamanantsoa/HP. Aberlenc)

II.B.1.4) Cycle de développement

En général, dans la nature, les adultes d'*H.arator rugifrons* émergent vers le début du mois d'octobre et même avant si les conditions climatiques sont favorables (arrivée des premières pluies) et disparaissent vers fin février/début mars avec un pic entre janvier et février. Cependant, au mois de juin, quelques adultes ont été encore observés. Les œufs sont généralement pondus à partir de janvier jusqu'à mi-juin. Aussi bien au laboratoire qu'au champ, nous avons observé que le pic des œufs se trouve entre janvier à mi-mars. Cependant, au laboratoire, de très rares œufs ont été pondus jusqu'en septembre. Le développement des larves comprend 3 stades. Le premier stade larvaire apparaît vers fin janvier et s'étale jusqu'en fin mars. Le deuxième débute vers mi-mars jusqu'en fin juin. Le troisième stade est le plus long et apparaît généralement de mi-juin à début septembre. Les nymphes s'observent de début août à fin septembre mais la majorité des nymphes s'observent à partir de mi-septembre.

II.B.1.5) Les différents stades de développement

a) L'œuf

- Taille et poids des œufs d' H. arator rugifrons.

La variation de taille de l'œuf n'est pas aussi spectaculaire que son poids car l'embryon est limité par le chorion (Fig. 128). La taille et le poids de l'œuf d'*H. arator rugifrons* varient de 1,66 à 1,95 mm et de 1,38 à 3,16 mg respectivement jusqu'à son éclosion (Fig. 129).

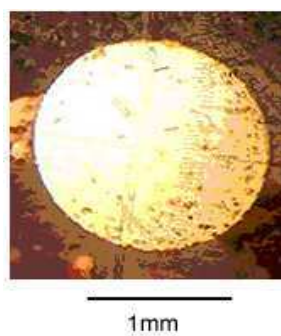


Fig. 128 Œuf (Source auteur)

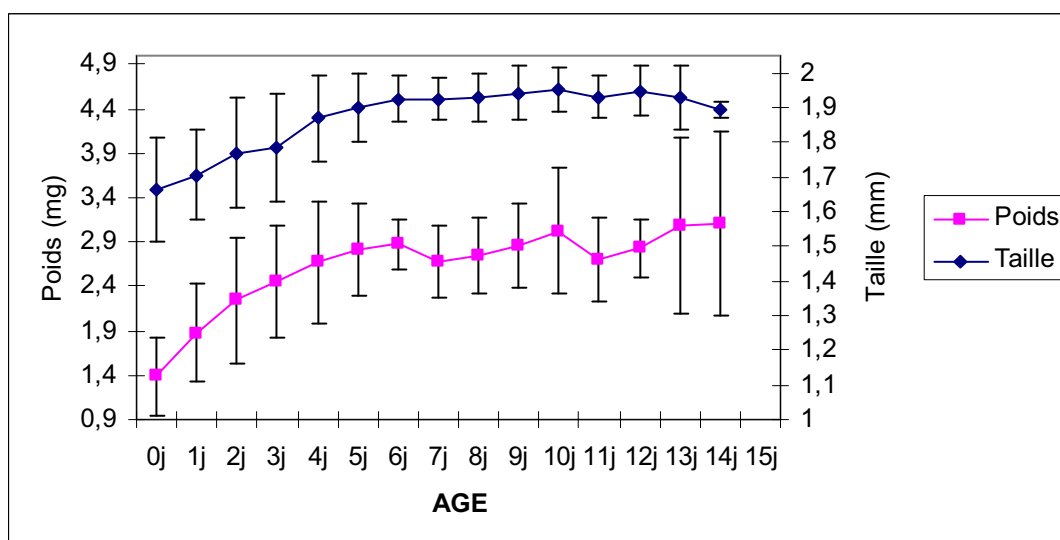


Fig. 129 Evolution du poids (en mg) et de la taille (en mm) moyens des œufs d'*Heteronychus arator rugifrons* de la ponte à l'éclosion (Nombre individus observés= 23)

b) Les larves

- Croissance en taille

Les tailles (longueur du corps) des différents stades sont représentées dans le tableau 19. Les tailles des stades L1 et L2 varient de 0,4 à 1 cm et de 0,7 à 1,4 cm respectivement. La taille du stade L3 pouvait dépasser 2 cm (min= 1 cm; max= 2,3 cm). La taille de la nymphe peut atteindre 1,7 cm (min= 1,3 ; max= 1,7 cm). Le nombre élevé des larves de stade L3 et nymphal provient des larves au stade L2 collectées au champ et qui ont été suivies au laboratoire jusqu'à leur émergence.

Tab. 19 Taille (en cm) des différents stades larvaires

	Stade larvaire L1 (Nombre d'individus observés= 5)	Stade larvaire L2 (Nombre d'individus observés = 6)	Stade larvaire L3 (Nombre d'individus observés = 21)	Nymphe (Nombre d'individus observés = 15)
Moyenne	0,46	0,97	2,04	1,53
Min	0,4	0,7	1	1,2
Max	1	1,4	2,3	1,7
Ecartype			± 0,11	± 0,08

- Evolution pondérale

Les observations ont porté sur des larves qui ont été élevées à 25°C. Le poids moyen des larves néonates était de $3,12 \pm 0,64$ mg (variant de : 2,4 – 4,5 mg). Ces résultats ne diffèrent pas de ceux observés par King (1981a) sur *Heteronychus arator*. Le poids des larves de premier stade a cru de façon rapide et continue. Cette augmentation a été très remarquable à partir du 6^{ième} jour après l'éclosion jusqu'à la fin du stade L2 (Figs. 130 & 131).

En effet, si le poids moyen des larves L1 était de 20,37 mg (min=2,4 ; max= 110,3 mg), le poids des stades L2 a atteint 246,7 mg avec une moyenne de 117,27 mg.

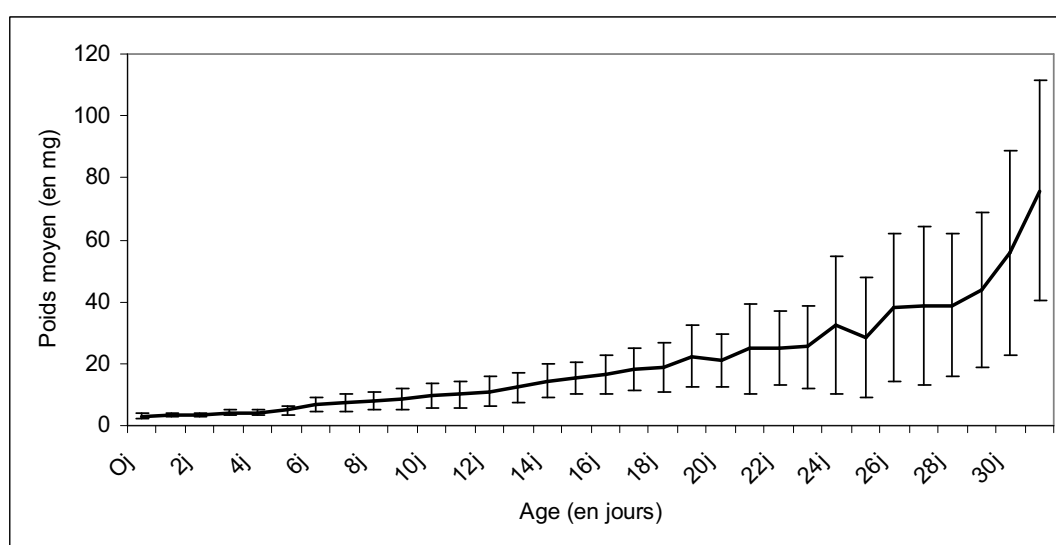


Fig. 130 Evolution du poids moyen (en mg) des larves de stade L1 (Nombre d'individus observés = 25)

Si, en général, la larve est de couleur blanc translucide, cette coloration vire au blanchâtre à l'approche de la métamorphose. Ceci concerne le changement de stade entre le stade L1 vers L2 et L2 vers L3. Lors de la métamorphose, dès que l'exuviation est terminée, nous avons observé une augmentation de taille de la capsule céphalique.

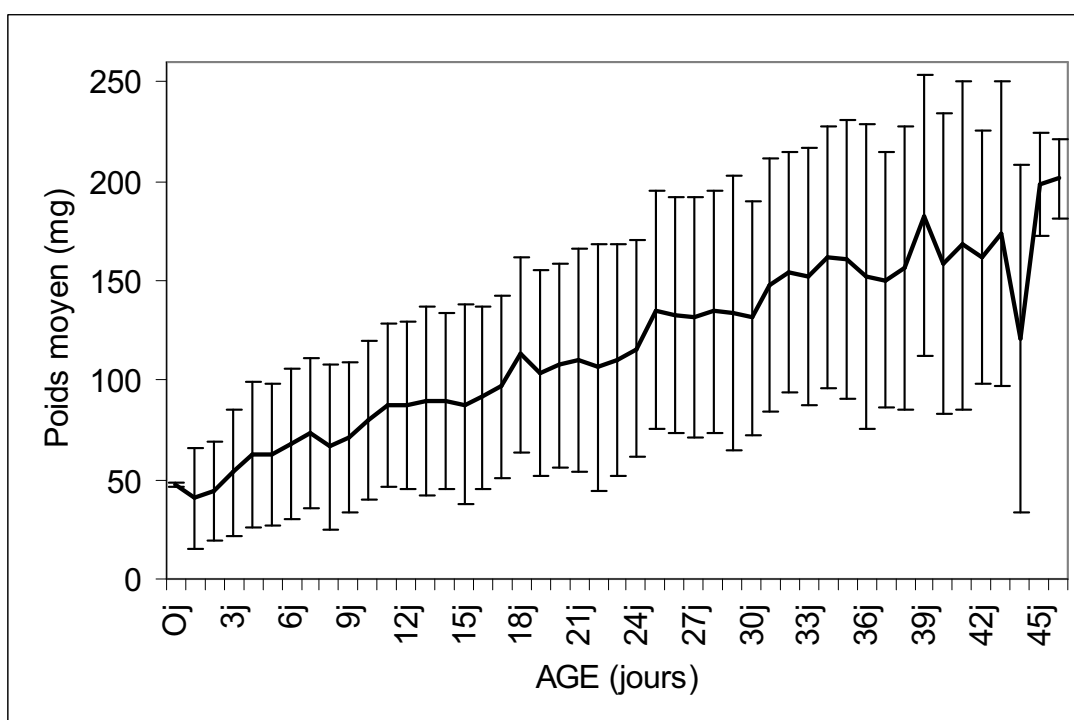


Fig. 131 Evolution du poids moyen (en mg) des larves de stade L2 (Nombre d'individus observés = 22)

Le poids moyen des larves de stade L3 était de 227,05 mg (min= 47,3 mg ; max=393,9 mg). Nous avons constaté cependant que cette augmentation ne s'est pas faite de façon continue. Cette augmentation de poids a été remarquée jusqu'au 36^{ème} jour, puis diminue progressivement. Cette diminution s'observe vers 40 jours avant la nymphose. Cela est dû au fait que les larves ne se sont plus alimentées normalement (Fig. 132). Ce changement de comportement est lié à l'approche de la métamorphose. A la pré-nymphose, nous avons remarqué que tout le corps de la larve devenait jaunâtre et on n'observait plus, par transparence, la terre même au niveau de la partie pygidiale de l'abdomen. Par ailleurs, elles étaient plus molles qu'avant et ne bougeaient plus guère.

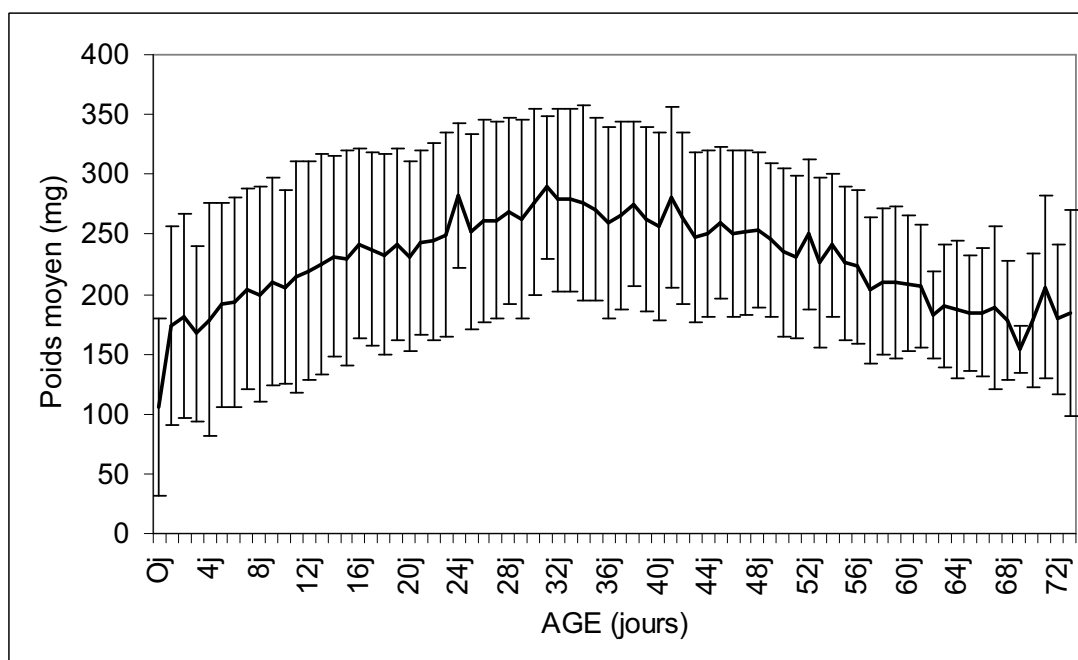


Fig. 132 Evolution du poids moyen (en mg) des larves de stade L3 (Nombre d'individus observés =19)

- Croissance des capsules céphaliques

La taille de la capsule céphalique (mesurée dans sa plus grande largeur) des larves L1, L2 et L3 d'*H. arator rugifrons* varie de 1,04 à 1,56 cm ; de 1,72 à 2,36 cm et 2,56 à 3,56 cm respectivement (Tab. 20).

Tab. 20 Largeur (en mm) des capsules céphaliques des larves d'*H. arator rugifrons*

	Largeur (en mm) des capsules		
	Larve de 1 ^{er} stade (Nombre d'individus observés= 37)	Larve de 2 ^{ème} stade (Nombre d'individus observés = 31)	Larve de 3 ^{ème} stade (Nombre d'individus observés = 24)
Moyenne	1,27	1,98	3,13
Min	1,04	1,72	2,56
Max	1 ,56	2,36	3,56
Ecart-type	± 0,083	± 0,13	± 0,16

Aussi bien à 18° qu'à 25°C, la taille moyenne de la capsule céphalique des différents stades larvaires est restée toujours la même Ceci indique que la température n'a pas d'influence sur

la taille de la capsule. Nous avons observé qu'à chaque changement de stade, la taille de la capsule est très remarquable.

c) *Les nymphes*

Contrairement à ce qu'on a observé au niveau des larves, le poids de la nymphe ne varie pas beaucoup (Fig. 133). En effet s'il y a variation, elle est due à la variation du poids des larves L3. Nous avons observé que le poids moyen de la nymphe est de 149,59 mg (min= 118,4 mg ; max= 218,1 mg).

Au début de la nymphose, leur couleur est jaunâtre et devient progressivement marron brunâtre à l'approche de l'émergence, au fur et à mesure que les téguments du futur adulte sont formés.

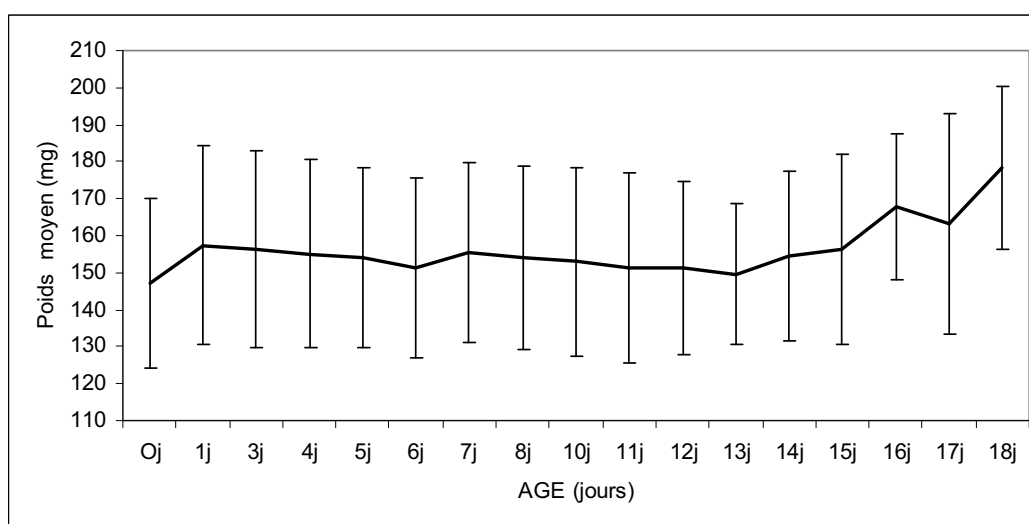


Fig. 133 Evolution du poids moyen (mg) de la nymphe (Nombre d'individus observés = 12)

Les effectifs, bien que faibles, aussi bien pour les mâles que pour les femelles, nous ont toutefois permis de donner une indication quant à la différence de poids entre les deux sexes. En effet, on a remarqué que les mâles ont un poids inférieur à celui des femelles. Leur poids varie de 121 mg à 159,9 mg et de 118,4 mg à 218,1 mg respectivement.

En général, le poids de la nymphe aussi bien pour les mâles que les femelles est resté à peu près stable tout au long de la période nymphale (Figs. 134 & 135)

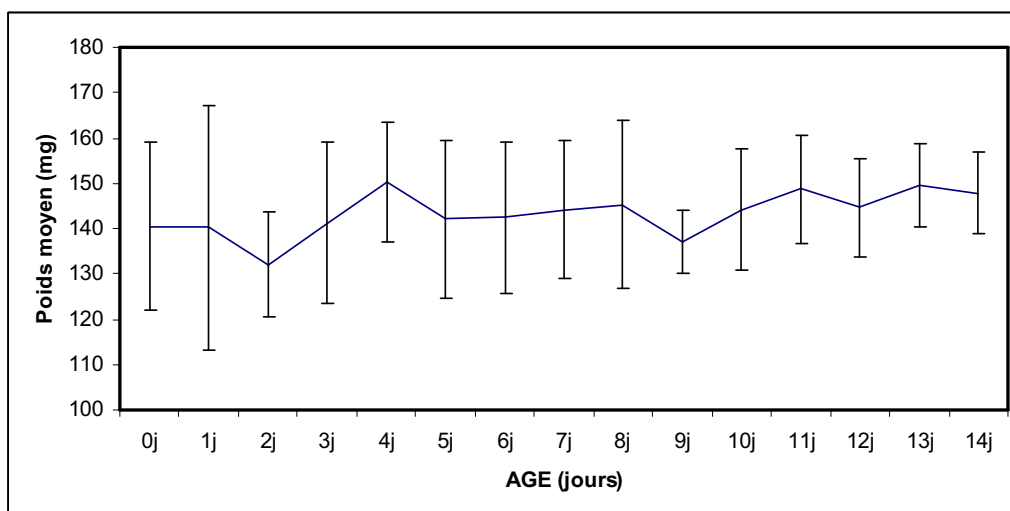


Fig. 134 Evolution du poids moyen (mg) des nymphes mâles (Nombre d'individus observés=3)

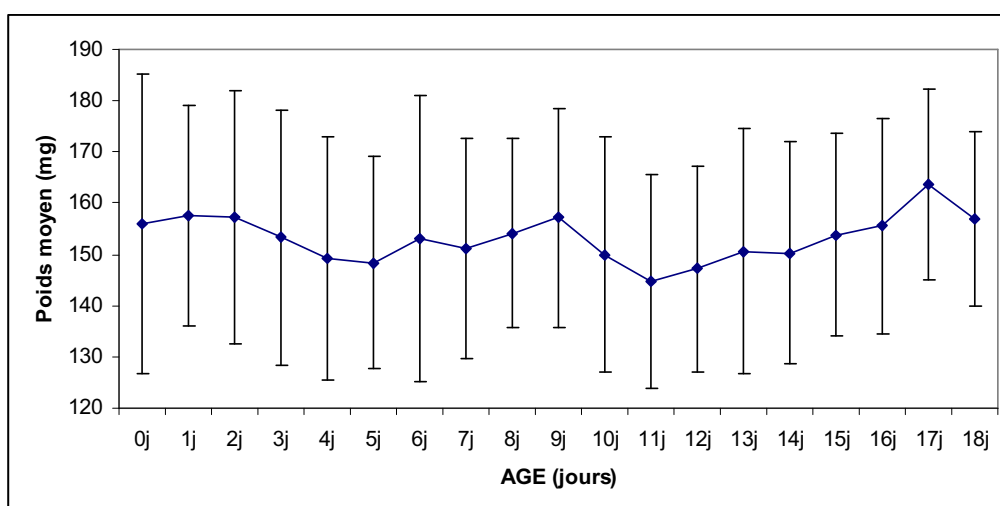


Fig. 135 Evolution du poids moyen (mg) des nymphes femelles (Nombre d'individus observés= 9)

d) *L'imago*

- Développement ovarien et période de pontes

Au laboratoire, les premières pontes ont été obtenues le 2 février 2007 avec des adultes ayant émergé le 12 septembre 2006. La période de développement gonotrophique de *H. arator rugifrons* peut durer ainsi jusqu'à 4,5 mois après son émergence et correspond avec la situation au champ où la présence des œufs est observée de février jusqu'en juin. Les femelles ont besoin de s'alimenter pour que la formation du vitellus puisse se produire.

- Accouplement, oviposition et fécondité des femelles

Au laboratoire, nous avons remarqué que les accouplements avaient lieu en surface, mais pas en profondeur dans le sol. Au champ, nous avons observé que ces accouplements se passaient sous le système racinaire de la couverture végétale. Le milieu était dans la plupart des cas légèrement humide.

L'activité générale des adultes des Scarabées se déroule au crépuscule. C'est à ce moment qu'on observe de nombreux vols et accouplements (cas des hannetons). Dans notre cas, il nous a été difficile de bien repérer le moment d'accouplement. Cependant, à chaque observation, on a observé davantage d'adultes en accouplement le matin que l'après-midi. Ces accouplements avaient sans doute déjà commencé le soir précédent.

A température ambiante de $24,10 \pm 1,01^{\circ}\text{C}$ (en février) à $18,29 \pm 1,03^{\circ}\text{C}$ (en juillet/août 2007), 95 œufs ont été pondus par 23 femelles. Les premières pontes obtenues ont été observées le 2 février 2007 et la dernière le 20 août 2007. Cependant, dans une cuvette, nous avons observé que la ponte n'avait débuté que le 08 avril 2007. Le dernier œuf a été pondu le 05 septembre 2007. Au-delà de cette période, aucun œuf n'a été pondu.

Toutefois, dans les deux cas, la durée de ponte des femelles s'est étendue sur plus de cinq mois, mais la majorité, soit 82% des œufs, a été pondue de février à mai, si les conditions sont favorables (température, nourriture, humidité) (Fig. 136). D'une manière générale, après quatre mois de ponte, le nombre d'œufs pondus est devenu très faible (un œuf, voire aucun), à cause du vieillissement des adultes et des températures défavorables de juin jusqu'en août. (Tab.18).

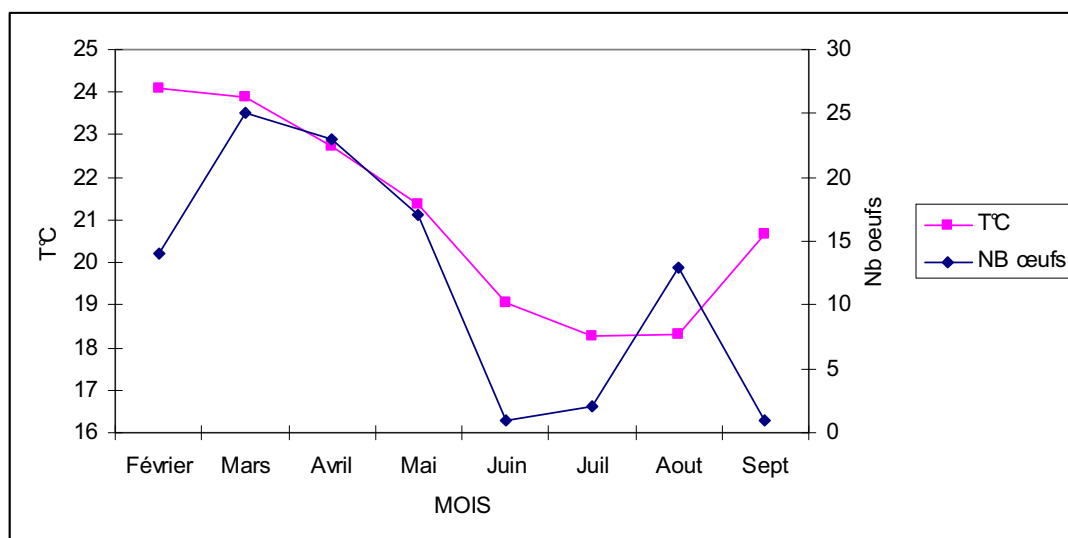


Fig. 136 Evolution du nombre des œufs pondus au laboratoire de Février à Septembre 2007

Les adultes ayant fait l'objet de suivi proviennent des émergences à partir des nymphes que nous avons élevées au laboratoire. Le nombre moyen d'œufs pondus par femelle d'*H. arator rugifrons* variait de 2,5 œufs à 11,8 œufs.

- Longévité

Dans la nature, l'envol des adultes commence avec l'arrivée des pluies, c'est-à-dire en octobre ou novembre et coïncide avec la période de mise en place des cultures. Les fortes pullulations s'observent d'octobre à février. A partir du mois de mars, les effectifs d'adultes diminuent jusqu'à devenir nuls. L'activité de vol est étroitement liée à la pluviométrie. En général, à partir d'avril, aucun adulte n'est plus observé au champ. Ceci suppose que leur longévité peut s'étendre jusqu'à 6 mois dans la nature.

Les premières émergences des imagos obtenus à partir des élevages au laboratoire ont eu lieu le 7 août 2006. Les émergences se sont échelonnées jusqu'au 5 octobre 2006. Ceci montre que, si les conditions sont favorables, on peut avoir les premières émergences très tôt –ie - dès le mois d'août. La longévité a varié de 1 à 11 mois.

Dans les conditions naturelles, au champ, les individus sont encore au stade larvaire (L3) âgé au mois d'août.

Elevées au laboratoire, dans les mêmes conditions, nous avons observé que les femelles avaient une longévité supérieure à celle des mâles. La longévité des femelles a varié de 292

jours à 374 jours avec une moyenne de $306,25 \pm 63,11$ jours, alors qu'elle n'était que de 233 à 288 jours chez le mâle, avec une moyenne de $288 \pm 24,70$ jours.

II.C) BIOTOPE

Ce sont essentiellement la nature du sol, les conditions et la qualité de l'alimentation qui interviennent sur l'importance numérique des populations. Certains sols se révèlent incompatibles avec un développement normal des vers blancs, tel que les terres lourdes trop riches en argile d'une part et les sols trop sablonneux d'autre part. Dans les terres argileuses il n'y a pratiquement pas de vers blancs. Les sols ferrallitiques sont favorables à la survie des larves (Vercambre, 1990). Les prélèvements conduits dans deux endroits différents ont permis de connaître l'abondance des adultes et larves d'*H. arator rugifrons* selon les niveaux de la toposéquence.

II.C.1) ABONDANCE DES ADULTES SELON LES NIVEAUX DE TOPOSEQUENCE

En février, des adultes d'*H. arator rugifrons* ont pu être collectés. Ces individus ont été trouvés de 3 à 5 cm de profondeur dans le sol dans l'enchevêtrement du système racinaire surtout du *Cynodon dactylon* et rarement du *Trifolium repens*. Ils ont été collectés dans les endroits situés en mi-hauteur et en hauteur de la toposéquence avec une densité de 0,25 et 3,25 individus/m² respectivement (Fig.137). Ces milieux sont caractérisés par un sol ferrallitique et sec.

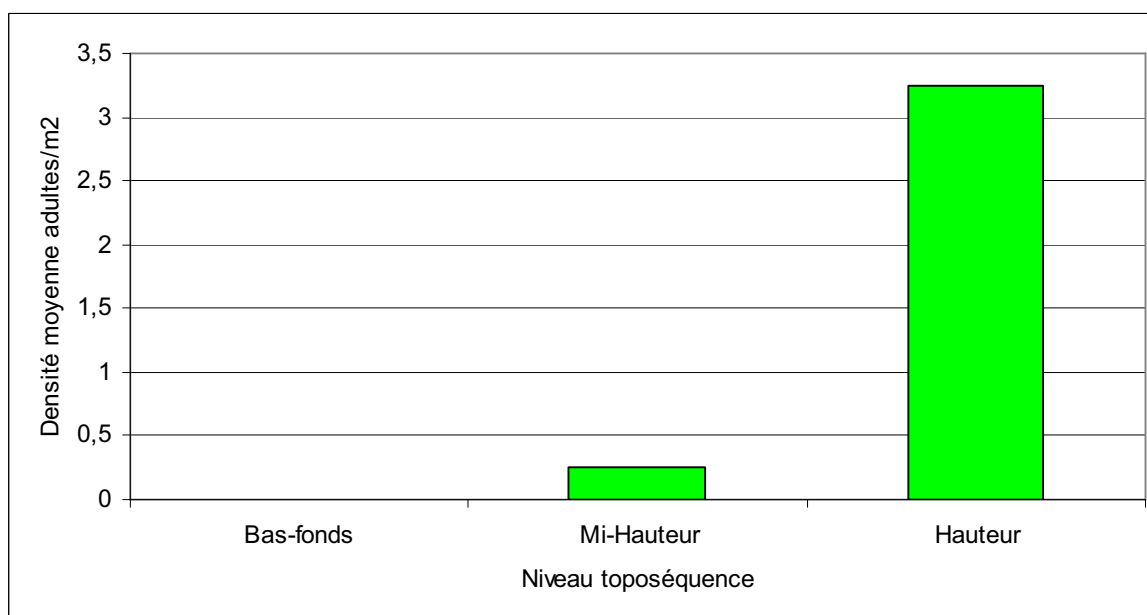


Fig. 137 Densité moyenne/m² des adultes d'*Heteronychus arator rugifrons* selon les niveaux de la toposéquence (Prélèvement de Février)

II.C.2) ABONDANCE DES LARVES SELON LES NIVEAUX DE TOPOSEQUENCE

Aussi bien en février qu'en juin, les larves ont été trouvées en mi-hauteur et hauteur de la toposéquence mais avec une densité plus élevée en hauteur qu'à mi-hauteur. Ces niveaux sont caractérisés par un sol ferrallitique sec couvert d'une végétation formée en majorité de graminées composées de Chiendent (*Cynodon dactylon*), Kikiyu (*Pennisetum clandestinum*), *Aristida* sp et *Brachiaria* sp. De façon générale, nous avons remarqué que la densité larvaire trouvée sur le premier site de la toposéquence (prélèvement de février) est plus faible que celle du second (prélèvement de juin). En hauteur, les densités des larves sont de 13 individus par m² en février et de 18,4 individus par m² en juin (Fig. 138) alors qu'à mi-hauteur, elles sont de 11,2 individus par m² en juin et 1 individu par m² en février. La densité est très faible voire nulle en bas-fonds qui est caractérisée par un milieu humide.

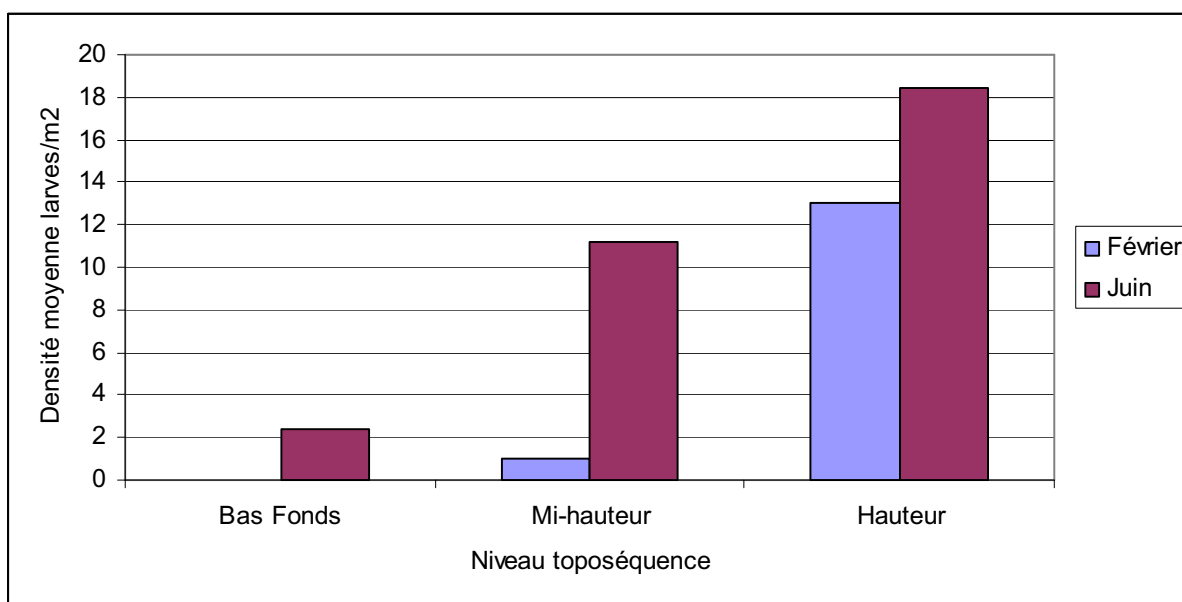


Fig. 138 Densité moyenne des larves par m² d'*H. arator rugifrons* selon les niveaux de la toposéquence

Différents stades de développement peuvent coexister ensemble dans un même lieu mais la majeure partie des stades larvaires collectés en juin sont représentés par des stades L2 et L3 (Fig. 139). En effet, à cette période, et même au laboratoire, nous n'avons trouvé que très rarement des stades L1 issus de quelques œufs pondus vers juin. Au laboratoire, des femelles d'*H. arator rugifrons* ont encore pondu en juin.

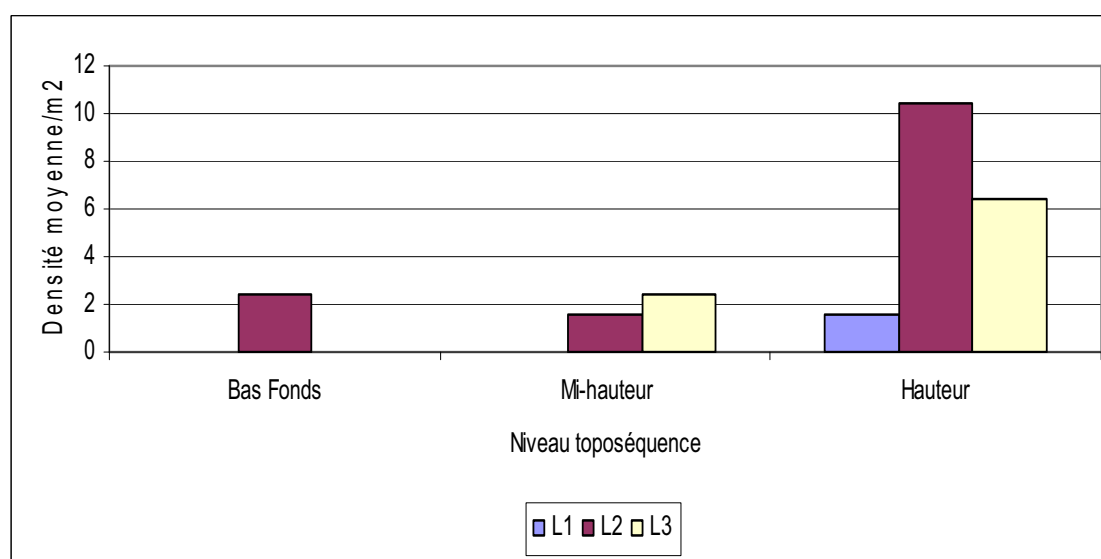


Fig.139 Composition des stades larvaires d'*Heteronychus arator rugifrons* dans les prélèvements du mois de Juin

II.D) DISCUSSIONS ET CONCLUSIONS DE LA DEUXIEME PARTIE

II.D.1) DUREE DE DEVELOPPEMENT DES STADES PREIMAGINAUX D' *HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS*

Le cycle de développement des Scarabaeidae varie selon le climat (Richter, 1958). La température influe beaucoup sur la durée de développement des stades pré-imaginaux d'*Heteronychus arator rugifrons*. A 18°C, nous avons remarqué que cette durée était plus longue et représente presque le double de celle observé à 25°C. Ceci est valable pour tous les stades pré-imaginaux. A 25°C, la durée d'incubation d'*H. arator rugifrons* correspond aux résultats obtenus par Donaldson (1982) et Matthiessen & Learnmonth (1998) sur l'espèce *H. arator*.

Les conditions défavorables, dont les températures basses, affectent le développement des larves, nymphes et imagos. A 18°C, le faible taux de survie de l'œuf à l'émergence de l'imago, les malformations observées sur les imagos (aile pas bien déployée ou développée, pigmentation pas bien formée) et les problèmes de mue montrent que cette température n'est pas favorable au développement des stades préimaginaux d'*H. arator rugifrons*. King (1981a) rapporte que des températures de 20 à 25°C permettent un développement optimal de tous les stades d'*H. arator* Fabricius.

Par ailleurs nous avons remarqué qu'à l'approche de la métamorphose, la couleur de la larve passe du blanc translucide à blanc jaunâtre. Le début de la nymphose est caractérisé par un quasi-immobilité de la larve. L'abdomen de couleur noirâtre s'éclaircit de l'avant à l'arrière. Le pygidium, charnu et arrondi, devient effilé.

Aussi bien à 18°C qu'à 25°C et malgré le nombre faible des individus suivis, nous avons observé que la durée moyenne du stade nymphal chez les femelles d'*H. arator rugifrons* était plus longue que chez les mâles. En revanche, ceci n'est pas le cas pour les durées d'incubation et de développement larvaire à 18°C. Pour ces stades pré-imaginaux, elles ont été plus longues chez les mâles que chez les femelles.

A 18°C, la durée moyenne du cycle de l'œuf à l'imago était de 251,4 jours (min= 239 jours ; max= 271 jours) alors qu'elle était de 160,8 jours à 25°C (min= 126 jours ; max= 178 jours), soit presque 100 jours de différence.

Ces résultats diffèrent largement de ceux obtenus par PLI (1990) au lac Alaotra avec *H. arator* qui rapporte que le cycle varie de 82 à 85 jours pour des œufs pondus en septembre-

octobre à une température voisine de 20°C et de 150 à 158 jours pour ceux de mai, avec une température de 17-18°C.

II.D.2) DEVELOPPEMENT OVARIEN D'*H. ARATOR RUGIFRONS*

Le vol des adultes commence en novembre ou décembre selon l'arrivée des pluies et s'achève en mai ou juin (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994). Ces vols sont suivis d'accouplement, d'alimentation et de pontes. Au laboratoire, le développement des ovaires chez les femelles sont observés vers mi- janvier et les premiers œufs sont obtenus début février. La période de pré-oviposition est longue, environ 4 à 6 mois en laboratoire. En effet, les femelles ont besoin de constituer des réserves pour la production d'œufs. Au champ la présence des œufs est observée à partir de février jusqu'en juin s'il s'avère que les femelles d'*Heteronychus* sont capables d'avoir un 2^{ème} cycle ovarien dans la nature jusqu'en juin voire plus tard (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994).

La taille et le poids des œufs augmente jusqu'au huitième jour par une absorption d'eau permettant une mobilisation du vitellus. Le poids diminue par la suite dû au développement organogénétique de l'embryon. Cette différence est liée à la modification du vitellus. Esson (1984) rapporte que la taille moyenne de l'œuf d'*H. arator* Burmeister est de 2 mm.

La période de développement gonotrophique de *H. arator rugifrons* peut durer jusqu'à 4,5 mois après son émergence. Ces observations concordent avec celles obtenues au Lac Alaotra sur *H. arator*. Les femelles doivent s'alimenter et ont besoin au minimum de trois mois pour arriver à leur première oviposition (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994).

La durée de ponte des femelles d'*H. arator rugifrons* peut s'étendre sur plus de cinq mois si les conditions sont favorables (température, nourriture, humidité), mais la majorité a été pondue de février à mai. Les mêmes résultats ont été obtenus au lac Alaotra sur *H. arator* (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994). Ceci suppose que si les conditions sont favorables, le développement ovarien peut toujours avoir lieu et que ceci dépend de la date de la première ponte.

II.D.3) OVIPOSITION ET FECONDITE DES FEMELLES D'*H. ARATOR RUGIFRONS*

La fécondité dépend largement des ressources alimentaires. Le nombre moyen d'œufs pondus par femelle d'*H. arator rugifrons* variait de 2,5 œufs à 11,8 œufs pour des adultes nourris

avec des jeunes plants de riz. Toutefois, nous pensons que cette fécondité semble faible due certainement à une insuffisance d'alimentation. Toutefois, Esson (1984) rapportait une fécondité de 7-10 œufs par femelle pour *H. arator*. Au laboratoire à 25°C et pour des femelles nourries avec des jeunes plants de maïs, Cumpston (1940) ; Taylor (1951) et Wright (1958) in King (1978) rapportaient que la fécondité d'*H. arator* varie de 20-90 œufs par femelle. Cependant Rajaonarison & Rakotoarisoa (1994) ont trouvé le cas contraire car la fécondité d'*H. arator* est meilleure dans le cas d'une alimentation en riz. Les espèces de plantes de pâturage ont une influence sur la croissance et la survie des larves ainsi que sur la fécondité des adultes et l'oviposition d'*H. arator*. Le taux de fécondité est meilleur pour des femelles nourries avec des racines de *Paspalum dilatatum* qu'avec du *Lolium perenne* et encore moins avec du *Trifolium repens*. (King, 1976, 1977, 1978). Le taux de stérilité des œufs est très faible. Le régime alimentaire n'influence pas le développement embryonnaire (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994).

II.D.4) LONGEVITE ET ACTIVITE DE VOLS DES IMAGOS D' *H. ARATOR RUGIFRONS*

L'activité de vol est étroitement liée à la pluviométrie. Dans les conditions naturelles des Hautes Terres, les premières émergences d'*H. arator rugifrons* apparaissent avec l'arrivée des premières pluies. Ces pluies provoquent une modification de l'humidité ambiante (Rajanarison & Rakotoarisoa, 1994). Le sol devient plus meuble et la sortie des adultes peut se faire facilement. Ceci en est le cas également avec *H. arator* dans la région du Lac Alaotra. La longévité d'*H. arator rugifrons* peut s'étendre jusqu'à 6 mois dans la nature. Matthiessen et Learmonth (1998) rapportent que les adultes d'*H. arator* peuvent vivre jusqu'à 4 mois et Rajaonarison & Rakotoarisoa (1994) indiquent même un maximum de 9 mois. Les femelles avaient une longévité plus longue que les mâles

Le vol des adultes de Scarabées se passent au crépuscule. Dans le cas des *Heteronychus* on a pu mettre en évidence deux périodes de vol. La première période a lieu d'octobre à décembre avec une forte intensité et la deuxième de fin janvier à juin avec une intensité plus faible (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994). Les adultes d'*Heteronychus* ont une activité maximale entre 18 heures à 20 heures. Dans notre cas, l'arrivée des premiers adultes au piège lumineux a été observée à 19 heures et a duré environ une heure. Ces résultats sont proches de ceux obtenus par Rajabalee (1991) sur *Heteronychus licas*. Cependant, ce comportement est lié à la

longueur du jour. Des envols peuvent avoir lieu avant lorsque les jours sont courts. Sur les Hautes Terres, les mêmes résultats ont été observés.

Les captures des adultes sont très abondantes après les pluies. En effet, la pluie favorise un envol du à l'ameublissement du sol facilitant la sortie des adultes qui ont un comportement endogé pendant le jour. Ceci confirme les observations au champ où la pullulation des individus est importante durant les périodes sèches après la pluie et causant des dégâts sévères sur les cultures.

Pour *Heteronychus* sp, son activité de vol dure de 50 minutes à 1 heure. *Heteronychus licas* présente également à peu près les mêmes activités à l'Ile Maurice (Rajabalee, 1990). Durant la journée, les adultes sont trouvés dans le sol à quelques centimètres de profondeur, le plus souvent sous un enchevêtrement racinaire (graminées et plants de riz).

II.D.5) BIOTOPE D' *H. ARATOR RUGIFRONS*

Heteronychus arator rugifrons fréquente plus un milieu sec qu'un milieu humide et se trouve beaucoup plus sur les hauteurs qu'en bas-fond. Les milieux en général humides, ne sont pas favorables au développement de sa population malgré la présence de source de nourriture constituée de préférence de Graminées. La végétation et l'humidité du sol jouent un rôle dans son écologie. Les couvertures végétales servent de gîte d'oviposition pour les adultes d'*H. arator* (King, 1981). Au Lac Alaotra, *H. arator* a des exigences écologiques portant sur un sol peu humide voire sec et une végétation basse (Rajaonarison & Rakotoarisoa, 1994). En effet, les larves ont été trouvées plus abondantes dans une végétation constituée de graminées sur sol sec que sur graminées sur sol un peu humide. Par ailleurs, en présence d'une végétation constituée de *Trifolium* sp, la population larvaire d'*H. arator rugifrons* trouvée a été faible. King (1981b) a observé l'influence de *Trifolium repens* (Fabaceae) sur la croissance d'*H. arator*. La consommation et le gain de poids des larves d'*H. arator* sont meilleurs lorsqu'elles sont nourries avec des racines de *Paspalum dilatatum* et *Lolium perenne* qu'avec du *T. repens*. Le trèfle n'est pas très apprécié par la larve d'*H. arator*. Ceci pourrait-être aussi le cas pour *H. arator rugifrons* dans le milieu renfermant ce type de végétation mais des études doivent être entreprises pour connaître l'influence de cette plante sur les populations d'*H. arator rugifrons*.

Au champ, à partir du mois de juin, la population larvaire d'*H. arator rugifrons* est composée surtout par des stades L2 et L3. Des stades L1 ont été cependant observées mais avec une

densité très faible. Les jeunes larves ont des exigences assez strictes, tant en ce qui concerne la température, l'humidité et la structure même du sol que pour la nature qualitative de leur alimentation (Hurpin, 1955). Des sols trop riches en sable ou trop argileux sont néfastes à ces insectes aussi bien au laboratoire que dans la nature.

TROISIEME PARTIE

**ETUDE DE L'EVOLUTION TEMPORELLE DE LA
POPULATION D'*HETERONYCHUS ARATOR RUGIFRONS* AU
CHAMP (DE JANVIER A DECEMBRE 2005)**

III.A) METHODOLOGIE

Les études ont été menées à Andranomanelatra (à 1645 m d'altitude) et Ivory (à 954 m d'altitude).

III. A. 1) CONDUITE DE LA CULTURE DU RIZ PLUVIAL

L'étude a été conduite sur du riz pluvial (variété FOFIFA 154) sur labour. Trois parcelles adjacentes d'un are chacune (10 m x 10 m) ont été délimitées dans chacun des sites (Fig. 140). Le semis a été fait en poquet avec une densité de 6 à 7 graines par poquet et un écartement de 20 cm x 20 cm. Aucun traitement insecticide n'a été appliqué.

Les besoins imposés pour la culture du riz pluvial sur les Hautes Terres nous ont amené la fertilisation suivante par hectare :

- fumier de parc : 5 tonnes
- NPK : 250 kg
- Dolomie : 500 kg
- Urée : 60 kg (répartis en deux apports : un au moment du semis et l'autre au tallage)

Le sarclage de la culture a été fait manuellement.

Le semis a été réalisé le 13 décembre 2004 pour les parcelles expérimentales d'Andranomanelatra et le 20 décembre 2004 pour celles d'Ivory.

III. A. 2) DISPOSITIF EXPERIMENTAL : METHODES ET FREQUENCE DES PRELEVEMENTS

Chaque parcelle élémentaire d'un are a été subdivisée en 25 carrés ou mailles de 2 m x 2 m (Fig. 141). Ces mailles de 2 m x 2 m ont été par la suite subdivisée en 400 carrés de 10 cm x 10 cm numérotés de 1 à 400 en commençant toujours en haut à gauche et en terminant en bas à droite (Fig. 142)

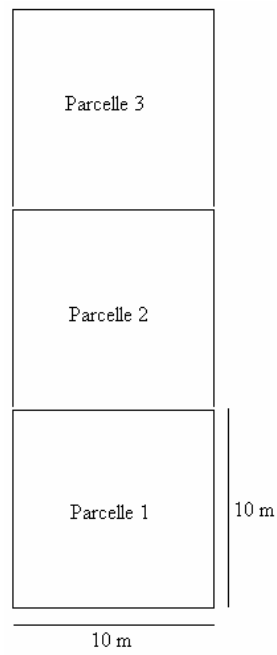


Fig. 140 Dispositif au champ

1	2	3	4	5
6	7	8	9	10
11	12	13	14	15
16	17	18	19	20
21	22	23	24	25

Fig. 141 Disposition des mailles de prélèvement (2 m x 2 m) dans une parcelle élémentaire (10 m x 10 m).

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
101	102	103	104	105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
121	122	123	124	125	126	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140
141	142	143	144	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160
161	162	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198	199	200
201	202	203	204	205	206	207	208	209	210	211	212	213	214	215	216	217	218	219	220
221	222	223	224	225	226	227	228	229	230	231	232	233	234	235	236	237	238	239	240
241	242	243	244	245	246	247	248	249	250	251	252	253	254	255	256	257	258	259	260
261	262	263	264	265	266	267	268	269	270	271	272	273	274	275	276	277	278	279	280
281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291	292	293	294	295	296	297	298	299	300
301	302	303	304	305	306	307	308	309	310	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
312	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331	332	333	334	335	336	337	338	339	340
341	342	343	344	345	346	347	348	349	350	351	352	353	354	355	356	357	358	359	360
361	362	363	364	365	366	367	368	369	370	371	372	373	374	375	376	377	378	379	380
381	382	383	384	385	386	387	388	389	390	391	392	393	394	395	396	397	398	399	400

Fig. 142 Maillage d'un carré de 2 m x 2 m à Andranomanelatra. Les carrés en vert correspondent à l'emplacement des poquets de riz.

Chaque prélèvement a consisté à faire un trou de 10 cm X 10 cm de côté x 20 cm de profondeur dans le carré de 4 m². Pour chaque prélèvement, 3 niveaux de profondeur sont considérées : 0 – 5 cm, 5 – 10 cm et 10 – 20 cm. Chaque unité de prélèvement a été tirée au hasard. Un outil de prélèvement de dimension 10 cm x 10 cm avec les trois niveaux de profondeur a été utilisé (Fig. 143) en l'enfonçant dans le sol. De petits outils aux dimensions ajustées (angady) servaient à couper les différents horizons.

Le prélèvement était réalisé tous les 15 jours, de janvier à décembre, soit 90 000 échantillons pour Andranomanelatra et 22 500 pour Ivory. Le sol prélevé a été soigneusement trié sur une bâche (Fig. 144).

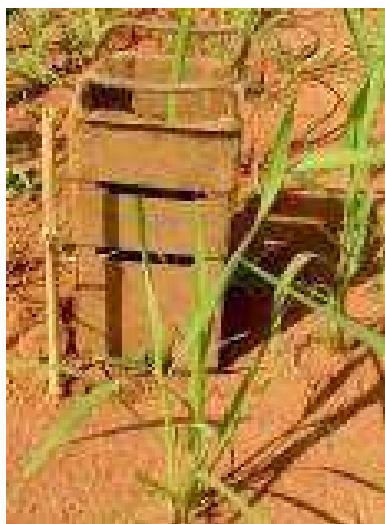


Fig. 143 Matériel de prélèvement

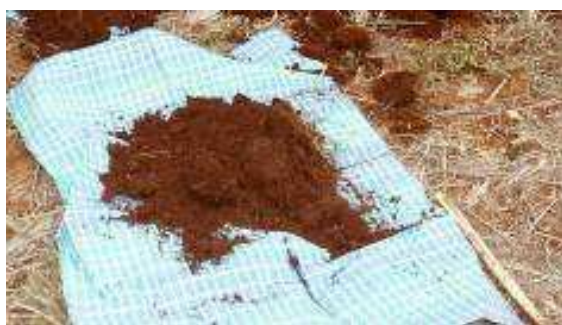


Fig. 144 Triage de la terre

Pour le site d'Ivory, le dispositif et la méthodologie de prélèvement ont été les mêmes qu'à Andranomanelatra, à la différence de la taille des unités de prélèvements qui est de 1 m x 1 m, soit 100 mailles par parcelle élémentaire au lieu de 2m x 2m (Fig. 145). Par contre, aucune cage d'émergence n'est installée pour risque de vol.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
60	61	62	63	64	65	66	67	68	70
71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
91	92	93	94	95	96	97	98	99	100

Fig. 145 Maillage d'un carré de 1 m x 1 m à Ivory. Les carrés en vert correspondent à l'emplacement des poquets de riz.

III. A. 3) OBSERVATIONS

Pour chaque sous unité de prélèvement (maille de 10cm x 10 cm), tous vers blancs trouvés ont été collectés et différenciés selon les parcelles, les mailles, les trous et les horizons. Les larves étaient mises dans de petits flacons renfermant de l'alcool à 70° et amenées au laboratoire en vue de leur identification à la morpho-espèce sous une loupe binoculaire par examen du raster.

A chaque prélèvement et pour chaque maille, l'état des plants (attaqués ou non attaqués) était noté. Les observations furent conduites depuis le début du tallage jusqu'au stade de maturité laiteuse de la culture.

Dans une des parcelles expérimentales, à Andranomanelatra, des sondes (capteurs de température) ont été installées à 2, 5 cm, 7, 5 cm, 15 cm et 25 cm de profondeur dans le sol. A Ivory, ils ont été installés à 7, 5 cm et 15 cm de profondeur. Les enregistreurs ont été mis en place dès le semis de la culture.

III.B) RESULTATS

III.B.1) EVOLUTION TEMPORELLE DES POPULATION D'*HETERONYCHUS* *ARATOR RUGIFRONS* SELON LES STADES DE DEVELOPPEMENT

Comme la population d'*H. arator rugifrons* trouvée lors des différents prélèvements a été très faible à Ivory, nous avons axé nos analyses sur les données d'Andranomanelatra.

III.B.1.1) Les adultes

Au champ, et d'une façon générale, nous avons remarqué que les adultes d'*H. arator rugifrons* étaient présents dès octobre et pouvaient vivre jusqu'en juin, mais leur abondance a été surtout observée de novembre à fin février. Dans le cas de notre étude, la population des adultes a diminué à partir d'avril et a disparu vers mi-juin. De juillet à octobre, aucun adulte n'a plus été trouvé (Fig. 139). Dans notre dispositif, les premiers adultes ayant émergé ont été trouvés en novembre. Au laboratoire, les mêmes résultats ont été obtenus avec des œufs pondus début février et qui ont été suivis à 18°C.

III.B.1.2) Les œufs

A Andranomanelatra, les œufs sont trouvés dès début de l'année jusqu'en juin, à une profondeur de 0 à 10 cm où la température du sol varie de 19 à 22°C.

Au laboratoire, les femelles ont commencé à pondre dès décembre jusqu'en juin avec un pic en février- mars. Un deuxième pic, plus petit, a été également observé de fin mai à mi-juin. Les mêmes résultats ont été obtenus au champ. A partir de juin jusqu'au 28 décembre, date du dernier prélèvement, aucun œuf n'a plus été pondue, comme le montre la figure 146.

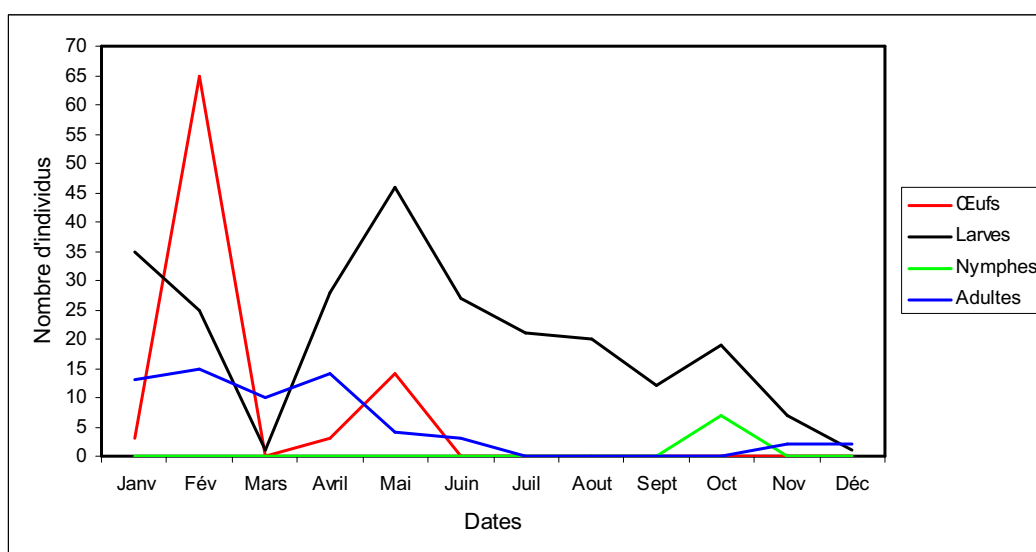


Fig.146 Evolution temporelle de la population à Andranomanelatra 2005

III.B.1.3) Les larves

Les larves ont été observées en abondance dès janvier jusqu'à mi-novembre avec un maximum entre mars à août. L'abondance des larves en avril-mai résulte de l'éclosion des œufs de mars. Le déclin progressif à partir de juin, même des œufs, est due en partie à la mortalité causée par les conditions défavorables : baisse de la température et l'insuffisance de l'humidité observée dès le mois d'avril. Les jeunes stades larvaires sont plus sensibles aux mauvaises conditions que les âgés.

III.B.1.4) Les nymphes

Au laboratoire, pour des œufs pondus début février et suivis à 18°C, la nymphose commence vers le début du mois d'octobre. Nous avons eu les mêmes résultats au champ. A partir de fin octobre, aucune nymphe n'a plus été observée (Fig. 146).

III.B.2) EVOLUTION TEMPORELLE DE LA POPULATION *H. ARATOR RUGIFRONS* SELON LES PROFONDEURS

III.B.2.1) Les oeufs

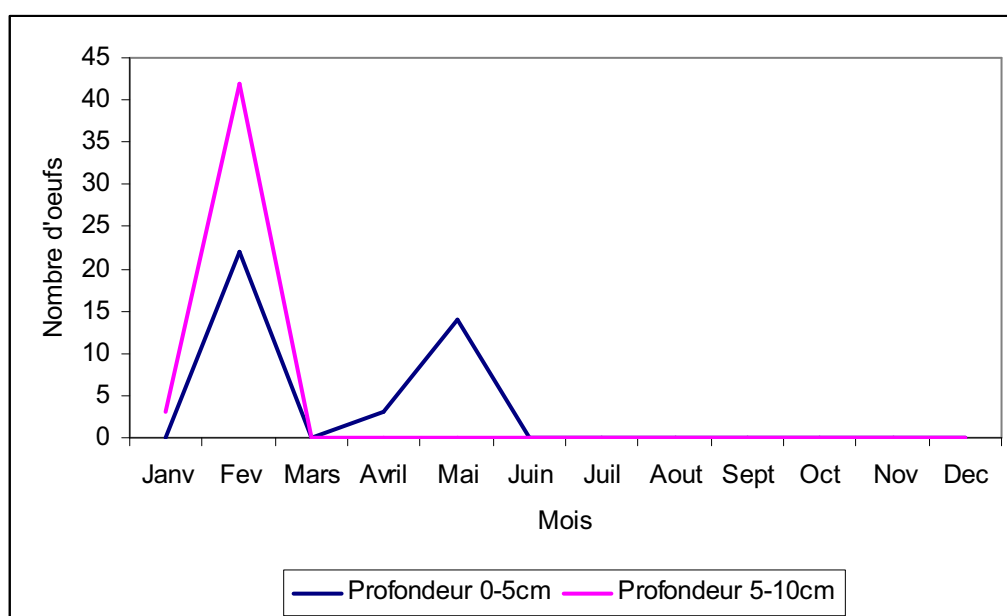


Fig. 147 Evolution des œufs dans les différentes profondeurs Andranomanelatra 2005

Les œufs d'*H. arator rugifrons* sont pondus entre 0 et 10 cm de profondeur, avec une majorité entre 5 et 10 cm de profondeur. La présence des œufs à cette profondeur est liée au comportement des adultes qui fréquentent beaucoup plus l'horizon superficiel, entre 0 à 5 cm de profondeur. Nous pouvons émettre l'hypothèse que, pour pondre, les femelles descendent un peu plus en profondeur dans le sol. Toutefois, des œufs sont pondus au niveau des horizons superficiels. Ces observations méritent d'être approfondies dans les conditions naturelles. Au-delà de 10 cm de cette profondeur aucun œuf n'est plus observé (Fig. 147).

III.B.2.2) Les larves

Dès janvier, les larves d'*H. arator rugifrons* sont trouvées à différentes profondeurs allant de 0 à 20 cm. A cette époque, la population est constituée surtout des stades très jeunes (L1 et L2) issus de l'éclosion des œufs à partir de décembre. Dans la figure 147, nous avons observé une abondance plus élevée des œufs dans l'horizon 5-10 cm. Ceci est également remarqué au niveau des larves, issues de l'éclosion des œufs, leur abondance étant élevée à partir d'avril

Au cours du temps, nous avons observé que les horizons plus profonds de 5 à 10 cm, étaient de plus en plus fréquentés (Fig. 148). En juin, les larves s'observent en grande partie en profondeur à 10-20 cm car elles suivent le degré d'humidité et de température dans le sol. Durant ces périodes, dans les horizons plus superficiels, le sol est plus sec et la température est basse qu'en profondeur. Dans la majorité des cas, les larves sont formées par des stades âgés (stade L3). Les stades L2 observés vers juillet sont des larves qui proviennent de l'éclosion des œufs pondus en mai/juin.

Les larves L1 s'observent en général de janvier à mars, les L2 en avril et les L3 généralement à partir de juin. Toutefois, on peut trouver une cohabitation des différents stades.

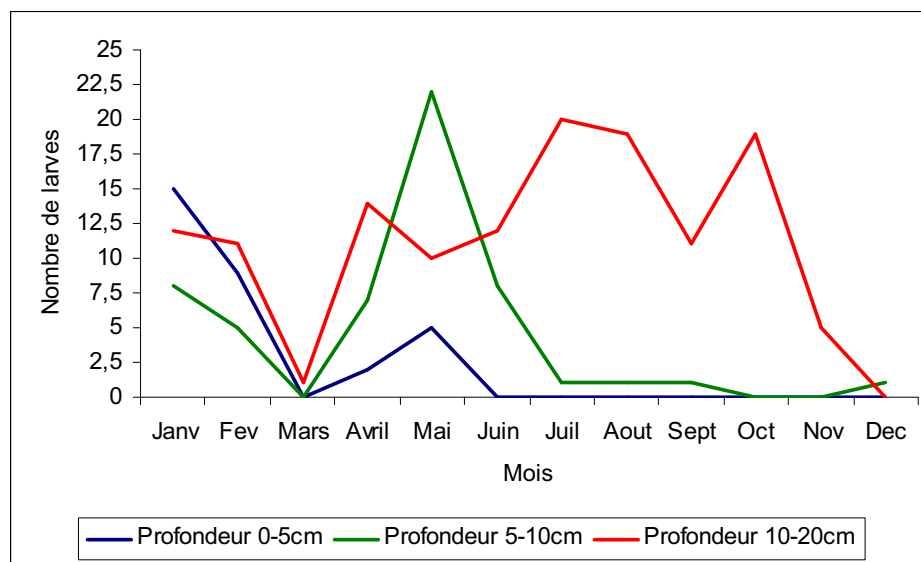


Fig. 148 Evolution de la population larvaire dans les différentes profondeurs
(Andranomanelatra 2005)

III.B.2.3) Les nymphes

Les nymphes se trouvent entre 10-20 cm de profondeur et s'observent dans la nature à partir de début octobre (Fig.149). La température moyenne dans le sol à ces profondeurs est de: 16 – 18°C. Au niveau superficiel, aucun individu n'a été trouvé. A partir de fin novembre, aucune nymphe n'a plus été observée car les imagos ont tous émergé. Les émergences ont eu lieu probablement avant ce prélèvement. Ces résultats concordent avec les durées nymphales observées à 18°C au laboratoire (durée moyenne= 35,86 jours).

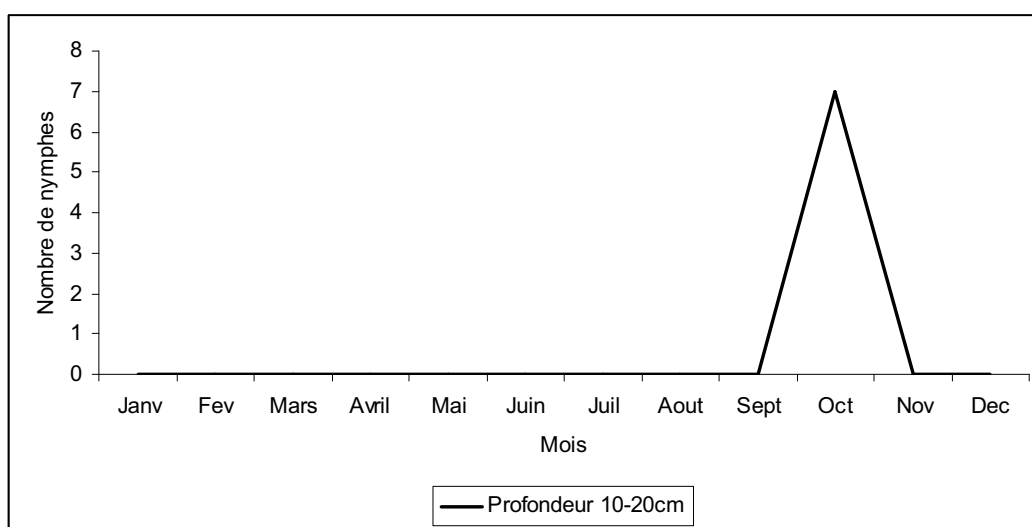


Fig. 149 Evolution des nymphes dans les différentes profondeurs (Andranomanelatra 2005)

III.B.2.4) Les imagos

Les adultes ne fréquentent que les horizons entre 0 et 10 cm de profondeur mais sont plus abondants entre 0 et 5 cm qu'à 5 et 10 cm de profondeur (Fig. 150). Le pic s'observe en janvier –février résultant des émergences à partir de novembre et/ou de décembre.

Ceci est lié à leur comportement : ils se nourrissent au niveau du collet des jeunes plants de riz et/ou du système racinaire des plantes adventices. Dans les mauvaises herbes, on a remarqué qu'ils sont localisés dans l'enchevêtrement du système racinaire entre 0 et 5 cm de profondeur. La présence des adultes au champ commence dès octobre et peut durer jusqu'en juin si les conditions sont favorables. Toutefois, ceci ne concerne que quelques individus, la majorité ayant vécu d'octobre à fin mars. Dans la nature, l'apparition des premiers adultes coïncide avec l'arrivée des premières pluies et la mise en place des cultures de riz pluvial, d'où l'importance des dégâts sur les jeunes plants.

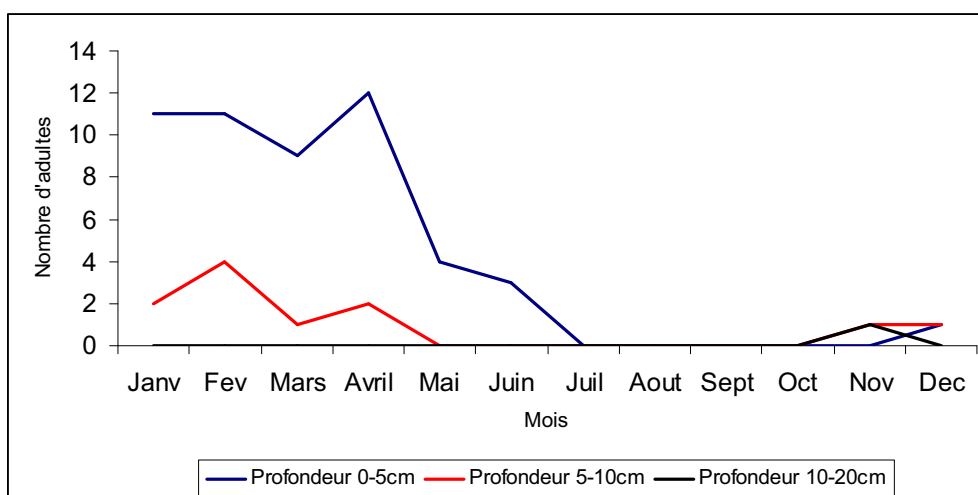


Fig. 150 Evolution des adultes dans les différentes profondeurs (Andranomanelatra 2005)

III.B.3) DISCUSSIONS

En général, au champ, les adultes d'*H. arator rugifrons* sont présents dès octobre et peuvent vivre jusqu'en juin. Leur émergence dépend de l'arrivée des premières pluies. Aussi, si les conditions climatiques sont défavorables (retard des pluies), cette apparition peut être décalée d'octobre à novembre. Cette apparition des adultes coïncide dans les régions des Hautes Terres à la mise en place du riz pluvial en causant des dégâts importants dans les parcelles cultivées. A partir de juillet, tous les adultes sont morts coïncidant avec les conditions défavorables et de leur vieillesse, sachant que la longévité des adultes est de 6 mois (PLI, 1990). Espèce monovoltine, la nouvelle génération apparaît en octobre lorsque les conditions redeviennent favorables dans la nature (-ie- température plus chaude et arrivée des pluies). De juillet à octobre, aucun adulte n'a plus été trouvé. Dans notre dispositif, les premiers adultes ont été trouvés en novembre.

En général, les adultes et œufs sont fréquemment observés entre 0 et 10 cm de profondeur. Les adultes sont plus abondants entre 0 et 5 cm de profondeur juste en-dessous de la surface du sol et près du système racinaire des plants de riz servant de source de nourriture et un lieu de ponte. Les mêmes résultats ont été observés au Lac Alaotra sur *Heteronychus arator*, *H. bituberculatus* et *H. plebeius* (PLI, 1990). Ce comportement confirme les dégâts importants causés par les adultes sur les jeunes plants. Les œufs sont trouvés beaucoup plus entre 5 et 10 cm de profondeur que dans les horizons superficiels 0 et 5 cm. Des études méritent d'être

entreprises pour connaître le comportement de ponte des femelles d'*Heteronychus arator rugifrons*.

Aussi bien au champ qu'au laboratoire, la majorité des œufs a été pondue en février-mars. Cependant, de fin mai à juin, nous avons remarqué la présence d'un deuxième pic d'œufs plus faible. Les mêmes résultats ont été obtenus avec *H. arator* au lac Alaotra. Ce deuxième pic de ponte serait attribué à un second cycle ovarien (PLI, 1990). Due à la veillesse des femelles, aucun œuf n'a plus été pondu à partir de juin.

Le développement des stades préimaginaux d'*Heteronychus arator rugifrons* se passe dans le sol. La présence des jeunes larves de 1^{er} stade s'observe au champ dès le mois de janvier. A partir de février-mars, cette population larvaire tend à s'accroître résultant de l'éclosion des œufs de février-mars. Cette population est formée par des larves de 1^{er} et de 2^{ème} stade. La durée moyenne du stade L1 étant de 29,31 jours. A partir du mois de mai, on peut avoir les 3 stades larvaires. A Maurice les mêmes résultats ont été obtenus sur *Heteronychus licas*. Les jeunes larves L1 de *H. licas* s'observent de février à juin et les larves L3 de juin à septembre (Rajabalee, 1991).

Même abondante dès les premiers mois d'apparition des larves, cette population tend à diminuer au cours du temps. La baisse de la température et l'insuffisance de l'humidité dans le sol constituent une des causes de mortalité des larves. Toutefois, il faut noter qu'à l'inverse une saturation trop élevée de l'humidité provoque également la mort des larves. Les jeunes stades sont les plus sensibles aux facteurs climatiques (King, 1981a).

A partir de juin, la majorité des larves se rencontrent en profondeur pour bénéficier des températures plus ambiantes et l'humidité permettant leur survie (fig.152). Si le sol est trop dur -ie- compact, surtout avec les sols ferrallitiques, les larves n'arrivent pas à se développer et finissent par mourir. Les individus préfèrent des sols plus meubles permettant leur développement. Ces conditions, -ie- compaction des sols, s'observent dans la nature dans le cas du Moyen Ouest du Vakinankaratra). Dans cette zone, le sol devient très dur à partir de mai jusqu'en août. Dans la région du Vakinankaratra, les petits crachins de juillet-août assurent une certaine humidité du sol. Ces conditions permettent un développement des larves et elles commencent à se nymphoser vers le début du mois de septembre.

CONCLUSIONS GENERALES

Morphologiquement toutes les larves de vers blancs se ressemblent et sont caractérisées par un corps mou, une forme arquée en C et de couleur blanche. La tête est fortement chitinisée.

Placées sur une surface plane, les larves de Melolonthidae se déplacent sur le côté, celles des Dynastidae se déplacent sur le ventre tandis que les Cetoniidae se déplacent sur le dos. Ce déplacement est très caractéristique de cette famille. La relative uniformité de leurs habitus impose de recourir à des caractères morphologiques fins pour séparer les espèces.

Dans le contexte agronomique, aucune publication ne permettait d'identifier les taxa, qui demeuraient confondus, et il était impossible de distinguer les ravageurs majeurs, les ravageurs mineurs ou potentiels et les espèces potentiellement utiles, ce qui interdisait toute gestion raisonnée, or les vers blancs malgaches sont divers et complexes.

Les prospections conduites au champ et les observations au laboratoire, en conditions contrôlées ont permis de connaître et d'identifier les vers blancs présents en riziculture pluviale de haute et de moyenne altitude des Hautes Terres de Madagascar. Par ailleurs, ce travail nous a permis de déterminer : - la préférence alimentaire d'*Apicencya waterloti* (Melolonthidae) ; de *Bricoptis variolosa* (Cetoniidae) et d'*Heteroconus paradoxus* (Dynastidae) ; - la plasticité trophique: d'*Heteronychus arator rugifrons* ; *H. plebeius*, *H. bituberculatus*, *Hexodon unicolor unicolor* et *Bricoptis variolosa* et - de connaître la bioécologie d'*Heteronychus arator rugifrons*, ravageur le plus fréquemment rencontré en riziculture pluviale sur les Hautes Terres malgaches.

Les vers blancs malgaches sont très divers. Vingt six espèces réparties dans 6 familles ont été collectées lors de l'étude. Ces familles comprennent des Melolonthidae (8 espèces), des Hopliidae (1 espèce), des Orphnidae (1 espèce), des Sericidae (2 espèces), des Dynastidae (9 espèces) et des Cetoniidae (5 espèces). Les Dynastidae et Melolonthidae ont été les plus couramment collectés. Toutefois cette liste n'est probablement pas exhaustive.

Pour les larves, le raster et la forme de la fente anale offrent d'excellents caractères dans un premier temps pour séparer les morpho-espèces et les identifier. Les Melolonthidae, Orphinidae, Sericidae ont une fente anale en V ou Y renversé et un raster avec un palidium. Ceci n'est pas le cas chez les Dynastidae et Cetoniidae où la fente anale est droite ou légèrement courbée, ou transverse. Chez les Dynastidae le palidium est absent. Il peut être présent ou absent chez les Cetoniidae.

Les caractères des pièces buccales et des antennes ne sont pas pour autant à négliger dans la détermination. La présence ou non d'aire stridulatoire mandibulaire sur les mandibules, d'aire

maxillaire sur les maxilles ou de tâches sensorielles sur les antennes constituent des caractères distinctifs au niveau famille et espèce.

Dans la majorité des cas, les vers blancs sont considérés comme des ravageurs des cultures pluviales à Madagascar. Des collectes que nous avons entreprises, les espèces appartenant aux familles des Dynastidae et Melolonthidae sont les plus à redouter compte tenu des dégâts qu'elles provoquent sur la culture. Pour le riz pluvial, ces attaques peuvent se produire dès la levée de la plante jusqu' à la floraison et sont causées par différentes espèces. Nous avons remarqué que les adultes d'*Heteronychus* sp dilacéraient le collet des jeunes plants de riz tandis que les larves d'*Apicencya waterloti*, *Enaria melanictera*, *Encya sikorai*, *Hoplochelus betanimena* s'attaquaient à leur système racinaire même si la plante était plus ou moins âgée.

A Andranomanelatra, dans une même parcelle, nous avons observé les deux formes d'attaques mais leur apparition s'est échelonnée dans le temps. Les attaques des adultes d'*Heteronychus arator rugifrons* sont observées dès la levée jusqu'au stade début tallage de la culture du riz pluvial alors que celles d'*A. waterloti* ont été observées à partir du stade plein tallage lorsque la plante est plus ou moins lignifiée.

Le statut organique du sol a une importance dans le régime alimentaire de la larve. En mésocosme, nous avons pu mettre en évidence, qu'*Apicencya waterloti*, est un rhizophage strict alors qu'*Heteroconus paradoxus*, *Heteronychus arator rugifrons*, *Heteronychus bituberculatus*, *Heteronychus plebeius* montrent une rhizophagie facultative dépendant de la présence de la matière organique dans le milieu. *Bricoptis variolosa* et *Hexodon unicolor unicolor* sont toujours saprophages même si la matière organique fait défaut.

Au champ, et dans les conditions des Hautes Terres, l'apparition des premiers adultes d'*Heteronychus arator rugifrons* coïncide avec l'arrivée des premières pluies. Si les conditions sont favorables (température, nourriture, humidité), permettant un bon développement des individus, la période de développement gonotrophique peut durer jusqu'à 4,5 mois après son émergence mais la majorité des œufs est pondue de février à mai. Les premiers sont pondus début février. Le creux d'abondance des adultes, œufs et des larves en mars est lié à des fortes précipitations et des traitements insecticides ayant eu lieu dans les parcelles avoisinantes du dispositif. Les pluviométries enregistrées en février et mars 2005 ont été de 287,5 mm et 202,5 mm respectivement ayant provoqué une forte mortalité des

individus qui, normalement pendant ces périodes, sont au stade sensible de l'espèce –ie- adulte, œufs et/ou très jeunes L1.

La température influe sur le développement des stades préimaginaux d' *H. arator rugifrons*. A 18°C, la durée du cycle de l'œuf à l'émergence de l'imago augmente 100 jours de plus qu'à 25°C. Cette différence s'observe dans les durées de l'incubation des œufs et du développement des stades larvaires. En revanche, elle n'influe pas sur la taille de la capsule céphalique. Nous avons remarqué que la température de 18°C n'est pas favorable au développement des stades préimaginaux d' *H. arator rugifrons*, Certains individus n'arrivent pas à sortir de leur exuvie nymphal et/ou présentent une malformation lors de l'émergence. Les températures de 20 à 25°C sont favorables pour un développement optimal de tous les stades d'*H. arator* (King ,1981a).

Le développement larvaire comprend 3 stades. La taille et le poids des larves varient selon le stade. La croissance de L1 est remarquable à partir du 6^{ème} jour après l'éclosion jusqu'à la fin du stade L2. A l'approche de la métamorphose la coloration de la larve vire du translucide à blanchâtre. Juste après la métamorphose, le corps de la larve ou de la nymphe est très mou.

L'activité de vol des adultes d' *H. arator rugifrons* est liée à la pluviométrie et dure en moyenne 1 heure. Elle commence aux environs de 19 heures pour se terminer vers 20 heures. Les captures de *Heteronychus arator rugifrons* et *H. bituberculatus* sont abondantes après les pluies et nulles durant et même 4 heures après l'arrêt de la pluie. En revanche, si le lendemain, le temps est sec, les adultes font leur apparition. Ceci confirme les observations au champ où la pullulation des adultes de ces espèces est importante durant les périodes sèches après la pluie et causant des dégâts sévères sur les jeunes plants des cultures. Dans les conditions des Hautes Terres, à partir du mois de juin, aucun adulte d'*Heteronychus* sp n'est plus observé au champ.

Dans les conditions des Hautes Terres, *H. arator rugifrons* fréquente des milieux secs situés en hauteur avec une couverture végétale constituée de Graminées et rarement dans les conditions de bas-fonds (milieu humide). Les jeunes larves de stade L1 s'observent en général de janvier à mars, les L2 en Avril et les L3 généralement à partir de juin. Toutefois, on peut trouver une cohabitation des différents stades. L'espèce peut coexister cependant avec d'autres espèces telles *H. bituberculatus*.

PERSPECTIVES

Les vers blancs présentent une très grande diversité et complexité. Si des études ont été déjà entreprises tant sur l'identification des adultes que les méthodes de lutte surtout chimique, beaucoup reste encore à faire.

Par la réalisation de ce premier inventaire et par la mise au point de la diagnose des larves, nous avons juste réalisé une partie du travail. La connaissance de la bioécologie des espèces recensées mérite d'être approfondie, surtout celles qui ont une importance économique afin de proposer des stratégies de gestion de la culture.

De par l'exigüité des surfaces aménagées pour la riziculture aquatique, la riziculture pluviale est pratiquée dans presque toutes les régions de Madagascar, y compris à basse altitude, et occupe de plus en plus de surface. A l'heure actuelle, le riz pluvial est surtout cultivé dans les terres de hautes et moyennes altitudes où notre cadre de notre recherche a été réalisé. Etant donné la variabilité des écosystèmes (altitude, relief, exposition, climat, nature du sol ...), le recensement des espèces mérite d'être poursuivi et des prospections entreprises ailleurs. Pour compléter cet inventaire, la région du lac Alaotra, d'altitude moyenne (853 m), où l'attaque des Vers blancs est importante, devrait être prospectée en priorité.

Si certaines espèces sont strictement rhizophages, d'autres peuvent présenter une rhizophagie facultative. Le changement de statut des vers blancs (i.e leur passage de la fonction d'organismes nuisibles à celle d'organismes utiles) selon le statut organique du sol, ouvre de nouvelles perspectives de gestion des systèmes rizicoles pluviaux, en particulier dans le cas d'*Heteronychus arator rugifrons*, espèce pour laquelle la relation aux racines de riz diffère significativement en fonction du statut organique du sol. Les études pourront être élargies car, en général, plusieurs espèces coexistent dans une parcelle donnée.

Le rôle de la qualité et de la quantité de la matière organique joue un rôle important sur le comportement des vers blancs. L'utilisation d'une couverture végétale morte ou vive pourra ainsi modifier le comportement des vers blancs. Des études méritent ainsi d'être entreprises dans ce sens.

Pour les espèces que nous avons pu recenser au cours de ce travail, leur biotope est encore mal délimité et la connaissance de leur bionomie encore insuffisante. Cependant ces informations sont importantes pour déterminer à l'avance les parcelles susceptibles d'héberger ou d'être attaquées par ces ravageurs en vue de l'application de mesures prophylactiques.

Outre l'identification morphologique, l'utilisation de la biologie moléculaire dans la détermination des différentes espèces constitue une voie à considérer.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- **Aberlenc** H.P. 2006 – Techniques entomologiques. L'entomologie sur Internet. L'Entomologiste 62 (1-2) : pp 59-62.
- 2- **Anonyme**. 1954 – Rapport annuel. Defense des Cultures, 21 p.
- 3- **Appert** J. 1968 – Les insectes nuisibles aux cultures de Madagascar. IRAT, Bulletin agronomique N°22, pp 153-154.
- 4- **Brenière** J. & Dubois J. 1965 – Catalogue des insectes nuisibles aux cultures malgaches, Document N° 43, pp 16-19.
- 5- **Booth** R.G, Cox M.L & Madge R.B. 1990 – Guides to insects of importance to man, 3. Coleoptera. International Institute of Entomology. The Natural History Museum pp 224-231.
- 6- **CAB International**. 1963 – Distribution Maps of Plant Pests, Map 163.
- 7- **Chaos** S, Kims H & Yang J.S. 1989 – Studies on the seasonal occurrence of the white grubs and chafer and other species of chafers at peanut field in Yeo-Ju area South Korea-Kyonggi provincial rural dev.adm. HWASON, KOREA, pp 19-26.
- 8- **Dechambre** R.P. 1986 – Insectes Coléoptères Dynastidae. Faune de Madagascar 65, Paris: pp 1-215.
- 9- **Donaldson** J.M.I. 1982 – A laboratory rearing technique for black maize beetles, *Heteronychus* spp. (Coleoptera: Scarabaeidae), and notes on their life cycle. Journal-of-the-Entomological-Society-of-Southern-Africa. 1982, 45: 2, pp 159-162.
- 10- **Esson** M.J. 1984 – Black beetle, *Heteronychus arator* Burmeister, life cycle. In Department of Scientific and Industrial Research. Wellington. New Zeland. Informations series N° 105/6.
- 11- **Franc** A., Andriamaroahina T., Legros Y., Duranton J-F. 2005– Amélioration de l'évaluation des risques acridiens du criquet migrateur *Locusta migratoria capito* (Sauss) Orthoptera Acrididae grâce à la télédétection. AFPP – 7^{ème} Conférence sur les ravageurs en agriculture. Montpellier - 26 et 27 octobre 2005, 10 p.
- 12- **Ghaïoule** D., Lumaret J-P., Rochat D., Maatouf N. & Niogret J. 2007– Evaluation des dégâts par les vers blancs (Coleoptera : Scarabaeoidea) dans les parcelles de régénération du chêne-liège (*Quercus suber* L.) en forêt de la Mamora (Maroc) et recherche de médiateurs chimiques pour une lutte biologique. Annales de la Société Entomologique de France (ns.), 43, 1 : pp 1-8.
- 13- **Greenland** D.J & Szaboles I. 1994 – Soil resilience and sustainable land use. CAB International, Greenland D.J and Szaboles I. (Eds): 561 p.

- 14- **Heinrichs** E.A. & Barrion A. T. 2004 – Rice-Feeding Insects and Selected Natural Enemies in West Africa: Biology, ecology, identification, 242 p.
- 15- **Hurpin** B. 1955 – Influence de l'alimentation sur la croissance du premier stade larvaire de *Melolontha melolontha* L. (Coléopt. Scarabaeidae). C. R. Soc. Biol.149 (23-24): 2107-9.
- 16- **Hurpin** B. 1958 – Influence de certains acteurs écologiques sur la ponte et le développement des cétoines grises. Ent. Exp & appl. I: 246-259. North Holland Publishing Co. Amsterdam.
- 17- **Hurpin** B. & Fresneau M. 1970 – Etudes en laboratoire du développement larvaire de *Oryctes monoceros* et *O. rhinoceros* (Col. Scarabaeidae). Ann. Soc. Ent. F (NS), 6(1), pp 193-214.
- 18- **Hurpin** B. 1971– Ecologie des Scarabeides et lutte biologique contre les vers blancs. Bull. Soc. Ecol. T.II 2-3, pp 122-135.
- 19- **King** P.D. 1976 – The effects of pasture species on black beetle. Proceedings of the 29th N°2. Weed and Pest Control Conference; 161-4.
- 20- **King** P.D. 1977 – Effect of plant species and organic matter on feeding behaviour and weight gain of larval black beetle, *Heteronychus arator* (Coleoptera: Scarabaeidae) New Zealand Journal of Zoology 4: pp 445-448.
- 21- **King** P.D, Crosby T.K & Pottinger R.P. 1978 – The effect of diet on fat levels and fecundity of *Heteronychus arator* (Coleoptera: Scarabaeidae). Proceedings of the 2nd Australasian conference on grassland invertebrate ecology. Palmerston North, New Zealand 22-26 May 1978. 1980, pp 97-99.
- 22- **King** P.D., Mercer C.F. & Meekings J.S. 1981a – Ecology of black beetle *Heteronychus arator* (Coleoptera: Scarabaeidae) – Influence of temperature, feeding, growth and survival of the larvae. N.Z. J. Zool. 8: pp 113-117.
- 23- **King** P.D, Mercer C.F & Meekings J. S. 1981b – Ecology of black beetle, *Heteronychus arator* (Coleoptera: Scarabaeidae) - relative consumption of pasture plant roots by larvae. New-Zealand-Journal-of-Zoology. 8: 1, pp 123-125.
- 24- **Lacroix** M. 1989 – Insectes Coléoptères Melolonthidae. Faune de Madagascar 73 (1), Paris : pp 1-302.
- 25- **Lacroix** M. 1993 – Insectes Coléoptères Melolonthidae. Faune de Madagascar 73 (2), Paris : pp 303- 875.
- 26- **Lacroix** M. 1997 – Insectes Coléoptères Hopliidae. Faune de Madagascar 88 (1), Paris : pp 1-399.

- 27- **Lacroix M.** 1998 – Insectes Coléoptères Hopliidae. Faune de Madagascar, 88 (2), Paris : pp 401-755.
- 28- **Lecoq M.** 2005 – Enseignements de la récente invasion du criquet pèlerin en Afrique. AFPP – 7^{ème} Conférence sur les ravageurs en agriculture. , Montpellier - 26 et 27 octobre 2005, 6 p.
- 29- **Paulian R.** 1954– Les *Heteronychus* ou Fano (Col. Scarabaeidae). Le Naturaliste malgache, VI, ½ : pp 17-23.
- 30- **Paulian R.** 1981– Insectes Coléoptères Trogidae et Hybosoridae. Faune de Madagascar 56, Paris : pp 1-28.
- 31- **Paulian R. & Lumaret J.-P.** 1982 – La larve des Orphnidae. Bulletin de la Société entomologique de France 87 (7-8) : pp 263-272.
- 32- **Paulian R.** 1984 – Les Orphnidae Américains (Coleoptères, Scarabaeoidea). Annales de la Société entomologique de France (N.S.) 20 (1) : pp 65-92.
- 33- **Paulian R.** 1990 – Atlas des larves d'insectes de France. Vers blancs, Chenilles, asticots, Société nouvelle d'éditions Boubée. 222 p.
- 34- **Paulian R. & Baraud, J.** 1982 – Faune des Coleoptères de France, Lucanoidea et Scarabaeoidea. Encyclopédie entomologique XLII, Paris, Lechevallier, 478 p.
- 35- **Peterson A.** 1960– Larvae of Insects. An introduction to Nearctic Species. Part II. Coleoptera, Diptera, Neuroptera, Siphonoptera, Mecoptera, Trichoptera. Colombus, 416 p.
- 36- **Peterson A.** 1962 – Larvae of Insects. An introduction to Nearctic Species. Part I. Lepidoptera and Plant Infesting Hymenoptera. Colombus, 315 p.
- 37- **PLI.** 1990 – Protection Intégrée en Riziculture au Lac Alaotra. Rapport d'activité 6: Aout 1989-juillet 1990, pp 43-57.
- 38- **Rabearisoa Y. M.** 2006 – Effet du mode de gestion des sols et des systèmes de culture sur les vers blancs en culture pluviale. Mémoire d'ingénieur en Sciences agricoles, 86 p.
- 39- **Rajaonarison H. J. & Rakotoarisoa D.** 1994 — Bionomie et contrôle des *Heteronychus arator*, *H. bituberculatus* et *H. plebejus*. Rapport de campagne 1991 et 1992 : Protection intégrée en riziculture au Lac Alaotra. FOFIFA-Coopération suisse (Coleo. Scarabaeidae : Dynastinae), 45 p.

- 40- **Rajabalee A.** 1991 — Etudes sur les vers blancs (Coleoptera : Scarabaeidae) de la canne à l'Ile Maurice. Rencontres Caraïbes en Lutte biologique, Guadeloupe, 5-7 novembre 1990. Ed. INRA, Paris 1991 (Les colloques N° 58).
- 41- **Ramanantsialonina H.M** 1999 – Evolution de la faune et des dégâts aux cultures en fonction du mode de gestion du sol. Mémoire d'ingénieur en agronomie, ESSA Université d'Antananarivo. CIRAD/FOFIFA/TAFA. 89 p + annexes.
- 42- **Randriamanantsoa R. & Ratnadass A.** 2002 — Etat des connaissances et acquis sur les vers blancs ravageurs associés aux systèmes de culture à base de riz à Madagascar. FOFIFA.
- 43- **Randriamanantsoa R., Ratnadass A., Aberlenc H.P., Rabearisoa Y.M., Rajaonera T.E., Rafamatanantsoa E. & Vercambre B.** 2007– Les vers blancs du riz pluvial d'altitude (Col. Scarabaeoidea) à Madagascar: Effets de la plante-hôte et de la matière organique du sol sur le comportement larvaire. Séminaire International sur « Les sols tropicaux en semis direct sous couvertures végétales », 03 au 08 Décembre 2007, ANTANANARIVO.
- 44- **Randriamanantsoa R., Aberlenc H.-P., Ralisoa O. B., Ratnadass A. & Vercambre B.** 2010 — Les larves des Scarabaeoidea (Insecta, Coleoptera) en riziculture pluviale des régions de haute et moyenne altitudes du Centre de Madagascar. Zoosystema 32 (1) : pp 19-72.
- 45- **Randriamanantsoa R.** 1999 — Rapport scientifique, Campagne 1998-99. MRS/FOFIFA/SRR, Antsirabe, Madagascar, 22 p.
- 46- **Randriamanantsoa R., Ratnadass A.** 2005 — Protection insecticide du riz pluvial par traitement de semences à Madagascar. 7^{ème} Conférence sur les ravageurs en agriculture. Montpellier - 26 et 27 octobre 2005, 6 p.
- 47- **Ratnadass A., Randriamanantsoa R., Razafindrakoto C., Andriatsimialona D., Andrianaivo A.P., Rafaraso L., Rafamatananantsoa E., Andriamasinoro R.S.V.** 2003 — Rapport d'activités 2001-2003. Caractériser l'interaction entre les différents systèmes SCV et les populations/dégâts des bio-agresseurs sur le riz pluvial. URP-SCRID/FOFIFA/CIRAD/UNIVERSITE d'ANTANANARIVO. 19 p.
- 48- **Ratnadass A., Andrianaivo A.P., Andriatsimialona D., Randriamanantsoa R., Razafindrakoto C., Rafaraso L.** 2008 — Rapport d'activités 2001-2005. Evaluer l'impact des systèmes de culture avec SCV sur les populations des bio-agresseurs en

- vue de promouvoir une approche de protection intégrée en riziculture pluviale. URP-SCRID/FOFIFA/CIRAD/UNIVERSITE d'ANTANANARIVO. pp 11-13.
- 49- **Ratnadass** A., Randriamanantsoa R., Rabearisoa Y.M., Rajaonera T.E., Rafamatanantsoa E., Isautier, C. 2006 — Dynastid white grubs as rainfed rice pests or agrosystem engeneers in Madagascar, International Rice Congress; October 9-13, 2006. New Delhi. India.
 - 50- **Raunet** M. 1981 — Carte et photographie de paysage de Madagascar : milieu physique et érosion.
 - 51- **Raunet** M. 1997 — Les ensembles morphopédologiques de Madagascar. ONE, FOFIFA, ANAE, CIRAD, 107 p.
 - 52- **Razafindrakoto** C. 1997 — Rapport d'activités, Entomologie, Campagne 1996-97. Fofifa, Centre Régional du Moyen-Est, Madagascar.
 - 53- **Richter** P.O. 1958 — Biology of Scarabaeidae. Annual Review of Entomology. Vol. 3, pp 311-334.
 - 55- **Simard** L., Belair G. & Dionne J. 2009 — Bien connaître les vers blancs : un pas vers un meilleur contrôle. Québec Vert / Septembre 2009 ; pp 43-50.
 - 56- **UPDR**. 2003 — Monographie de Vakinankaratra, 116 p.
 - 57- **Venter** R.J.H. & Louw M. 1978 — *Heteronychus arator* (Fabricius), a potentially dangerous pest of potatoes (Coleoptera: Scarabaeidae). Phytophylactica. 1978, 10: 3, 99.
 - 58- **Vercambre** B. 1990 — Note a/s de *Hoplochelus marginalis* Farmaire (Coleoptera, Melolonthidae). CIRAD/IRAT-REUNION, 5 p.
 - 59- **Vercambre** B. 2001 — Formation et programmation sur les problèmes de vers blancs à Madagascar (du 4 au 13.11.2001). Cirad, France, 13 p. + 12 Annexes.

ANNEXES

ANNEXES 1

GLOSSAIRE (Cf. Fig. 9 et 10)

Chaetoparia : partie intérieure du paria couvert de poils.

Clithrum : une paire de sclerome court dans la partie antérieure de la marge de l'épipharynx

Epipharynx : domaine du complexe buccal formant l'intérieur de la labrum. Il comprend les régions suivantes: (1) Corypha, (2) Paria (subdivisé en acanthoparia, gymnoparia, et acroparia) portant le plegmatium, proplegmatium et phobae, avec une marge postérieure renforcé vers la droite par le dextotorma et à gauche par le laeotorma, (3) haptomerum composé de zygum et epizygum, (4) pedium,

Habitus : aspect général

Haptomerum : région médio-antérieure de l'épipharynx, en face du pedium et derrière le corypha, ou derrière la région apicale composé des acroparia

Palidium (pluriel : palidia): un groupe de poils arrangés sur une ou plusieurs lignes en avant de la lèvre inférieure de la fente anale.

Proplegmatium (pluriel : proplegmatia): espace associée à une surface plissée à l'intérieur et généralement un peu en face du plegmatium

Raster: un complexe de poils et d'épines avec ou sans structure bien définie se trouvant sur la face ventrale du dernier segment abdominal en avant de l'anus

Septula: région étroite glabre située entre les rangées de poils formant le palidia

Teges: région, sur le raster, formée de poils courbés ou droits en continu, dense ou clairsemée

ANNEXES 2

CLE D'IDENTIFICATION DES VERS BLANCS (SCARABAEOIDEA) PRESENTS EN RIZICULTURE PLUVIALE D'ALTITUDE A MADAGASCAR

Le nombre de dents stridulatoires maxillaires, comme le nombre d'épines des palidia sont mentionnés à titre indicatif, car ils sont sujets à une certaine variabilité.

1. Maxilles à galea et lacinia distinctement séparées. Fente anale en "Y". Palidia formant un cercle ouvert vers l'arrière d'épines convergeant vers la fente analeOrphnidae : *Triodontus nitidulus*
– Maxilles à galea et lacinia au moins partiellement soudées ou étroitement accolées l'une à l'autre. Fente anale transverse ou en "Y"2
2. Fente anale transverse, droite ou faiblement arquée. Mandibules à aire stridulatoire ventrale formant une plage ovale, avec un nombre variable de stries transversales réduite à cinq stries difficilement visibles chez *Heteroconus paradoxus*. Galea et lacinia soudées sur toute leur longueur, la suture plus ou moins visible ou effacée.....3
– Fente anale en "Y". Mandibules sans aire stridulatoire ventrale.....8
3. Palidia en général présents, parfois absents. Lacinia avec un uncus formé de deux dents sclérifiées. Dents stridulatoires maxillaires constituées de fortes pointes sclérifiées subconiques et pointues. Labre bilobé ou trilobé, en général presque symétrique, avec une tache pigmentée de part et d'autre du milieu, sur le bord antérieur (clithra). Haptomère avec en général une rangée transverse arquée de courtes et fortes soies épineuses, jamais conformé en pointe saillante. Larves se déplaçant sur le dosCetoniidae → 4
– Palidia toujours absents. Lacinia avec uncus formé de deux ou trois, parfois quatre dents sclérifiées. Labre asymétrique. Haptomère en pointe saillante. Larves se déplaçant sur le ventre.....Dynastidae → 18
4. Raster sans palidia.....sp. C1
– Raster avec palidia5

5. Palidia formés par deux rangées longitudinales de 12 à 19 épines légèrement concaves. 5 + 1 dents stridulatoires maxillaires.....*Bricoptis variolosa*
- Palidia conformés autrement, soit avec deux rangées d'épines divergentes vers l'arrière soit avec deux rangées d'épines subparallèles soit avec deux rangées d'épines légèrement convexes 6
6. Palidia formés par deux rangées longitudinales de 16 à 21 épines divergeant à l'extrémité postérieure, avec une rupture de la courbe au tiers basal environ (formant ainsi le dessin d'un « fer de lance »). Cinq + 1 dents stridulatoires maxillaires.....*Celidota parvula*
- Palidia formés d'alignements de 11 à 16 épines disposées soit en deux rangées subparallèles, soit en deux rangées légèrement convexes dessinant une « voûte gothique » vers l'avant7
7. Palidia formés par deux rangées légèrement convexes de 13 à 16 épines, formant une pointe antérieure en « ogive gothique ». Quatre + 1 dents stridulatoires maxillaires*Euryomia argentea*
- Palidia formés par deux rangées subparallèles de 11 à 14 épines. Six à 8 + 1 dents stridulatoires maxillaires *Anochilia bifida*
8. Palidia absents, raster avec un groupe de fortes soies aplaties et recourbées à l'apex du côté ventral de la fente anale, avec de nombreuses soies plus fines autour de la fente anale et du côté dorsal de celle-ciHopliidae : *Paramorphochelus cornutus*
- Palidia présents..... 9
9. Palidia formés par deux rangées ou groupes symétriques d'épines séparés par le septula glabre. Si le palidium est formé par une rangée d'épines disposées en arc de cercle, alors celles-ci sont regroupées en « touffes » de 2, 3 ou 4 soies rapprochées. Galea et lacinia fusionnées à la base mais séparées et accolées à l'apex..... Melolonthidae → 10
- Palidium formé par une rangée d'épines régulièrement disposées en arc de cercle ouvert vers l'arrière Sericidae → 17

10. Soit palidium formé par une rangée de fortes soies disposées en arc de cercle et regroupées en « touffes » de deux, trois ou quatre soies rapprochées, soit palidia formés par une double rangée symétrique de soies dessinant un V renversé ou un fuseau15
 - Palidia formés non par une double rangée symétrique de soies mais soit par un double groupe symétrique de soies, soit par une double rangée symétrique de courtes épines en avant et de deux groupes symétriques de fortes et longues soies en arrière, l'ensemble formant un "T" inversé11
11. Palidia formés par une double rangée symétrique de courtes épines en avant et par deux groupes symétriques de fortes et longues soies en arrière, l'ensemble formant un "T" inversé. Treize à 14 dents stridulatoires maxillaires *Empecta scutata*
 - Palidia formés par deux groupes symétriques de fortes soies12
12. Palidia formés par deux groupes symétriques de fortes soies en forme de "J". sp. M1
 - Palidia formés par deux groupes subtriangulaires symétriques de fortes soies13
13. Palidia formés par deux groupes de fortes soies disposées sur deux ou trois rangs au maximum..... sp. M3
 - Palidia formés par deux groupes de fortes soies plus nombreuses disposées sur quatre rangs ou plus..... 14
14. Palidia en triangle plus large que haut. Teges plus étroit, aux soies plus courtes disposées sur trois rangs. Dix-sept à 21 dents stridulatoires maxillaires *Encya sikorai*
 - Palidia en triangle plus haut que large, en « ogive gothique » dont la pointe serait tronquée. Teges plus large, jusqu'à cinq rangs de soies plus allongées. Quinze à 16 dents stridulatoires maxillaires *Hoplochelus betanimena*

15. Palidia en forme de "V" renversé. Onze à 13 dents stridulatoires maxillaires
.....*Enaria melanictera*
– Palidia arrondis.....16

16. Palidium formé par une rangée de fortes soies disposées en arc de cercle et regroupées en « touffes » de deux, trois ou quatre soies rapprochées.....sp. M2
– Palidia formés par une double rangée symétrique de 13-15 fortes soies dessinant un fuseau. Seize à 17 dents stridulatoires maxillaires.....*Apicencya waterloti*

17. Palidia formés par 15 à 18 longues épines aplaties très serrées, pointues..... sp. S1
– Palidia formés par 17 à 19 courtes épines aplaties, plus espacées, à apex arrondi..... sp. S2

18. Raster avec symétriquement de part et d'autre du milieu, séparées par une étroite zone glabre, une très forte et épaisse épine variable orientée vers l'intérieur (simple, bifide ou trifide) et dissymétrique (trifide ou bifide du côté gauche et bifide ou simple du côté droit). Neuf à 10 dents stridulatoires maxillaires*Paranodon coquerelii*
– Raster sans fortes soies bifides ou trifides.....19

19. Raster avec une large zone médiane glabre centrale bordée d'une rangée de 5 ou 6 courtes épines du côté dorsal de la fente anale. Sept à 10 + 1 dents stridulatoires maxillaires..... *Heteronychus arator rugifrons*
– Raster sans large zone médiane glabre centrale du côté dorsal de la fente anale..... 20

20. Raster: teges à soies épineuses courtes non recourbées à l'apex. Larve L3 toujours de très grande taille..... sp. D2
– Raster : teges à soies épineuses aplaties recourbées à l'apex. Larve L3 de taille petite à grande..... 21

21. Raster : teges avec des épines aplaties et recourbées assez étroites, très nombreuses et avec de longues soies sur la périphérie. Larve L3 toujours de grande taille..... sp. D1

- Raster : teges jamais entouré par de longues soies, avec des épines aplaties et recourbées assez larges, moins nombreuses. Larve L3 de taille petite à grande..... 22

- 22. Raster : teges avec de nombreuses soies aplaties et recourbées. Du côté dorsal de la fente anale, nombreuses soies courtes mêlées de quelques longues soies. Une étroite bande glabre le long de la fente anale du côté dorsal. Neuf à 10 dents stridulatoires maxillaires (Fig. 16N). Larves L3 de grande taille*Hexodon unicolor unicolor*
- Raster conformé autrement, teges à épines moins nombreuses. Larves L3 de petite taille..... 23

- 23. Raster: teges avec de très fortes soies dispersées, épaisses, recourbées et aplaties. Du côté dorsal de la fente anale, nombreuses soies courtes avec quelques très longues soies fines. Mandibules à aire stridulatoire réduite à cinq stries difficilement visibles. Douze à 15 dents stridulatoires maxillaires..... *Heteroconus paradoxus*
- Raster conformé autrement 24

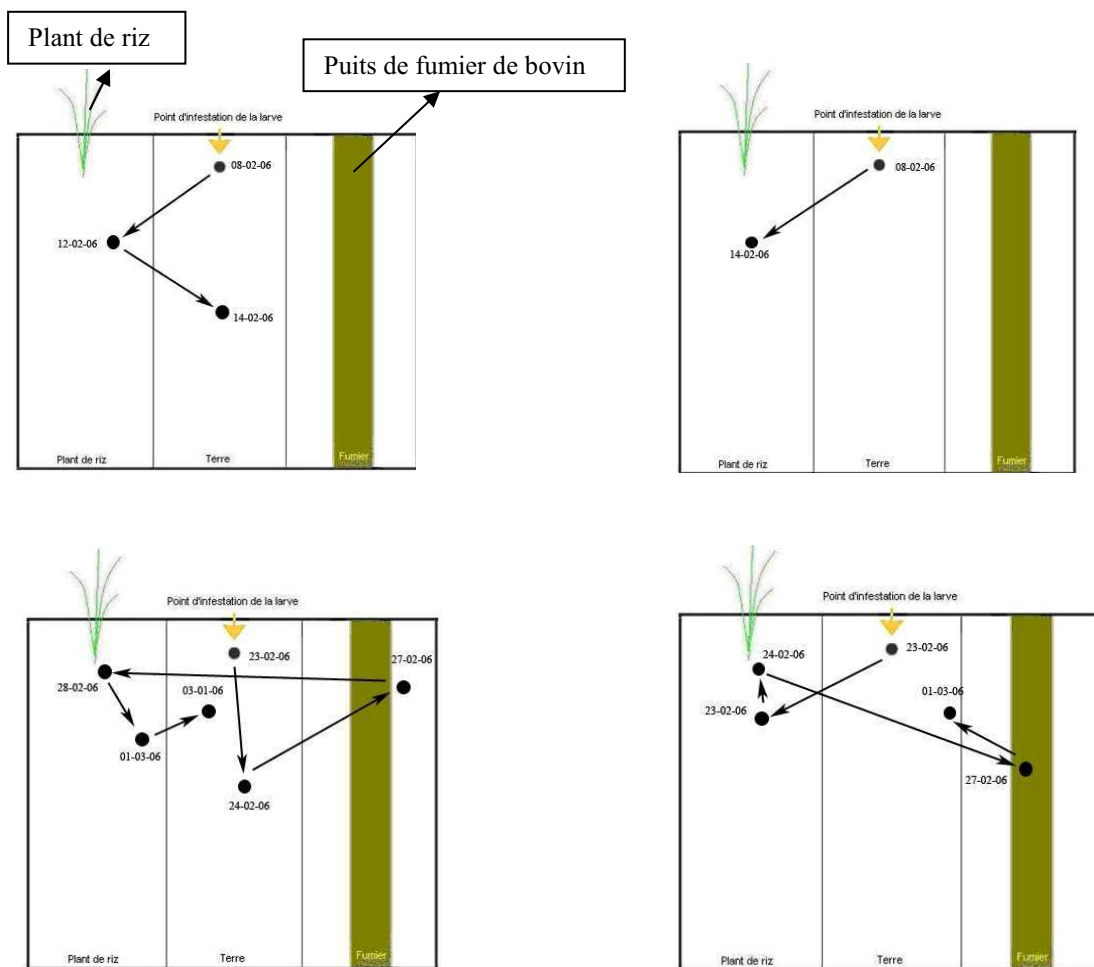
- 24. Raster : teges avec de fortes et longues soies aplaties, à l'apex incurvé, avec de chaque côté un groupe de soies plus longues. Cinq dents stridulatoires maxillaires..... *Heteronychus bituberculatus*
- Raster : teges avec des soies bien plus courtes que chez *H. bituberculatus*, sans groupe de longues soies de chaque côté. Sept + 1 dents stridulatoires maxillaires..... *Heteronychus plebeius*

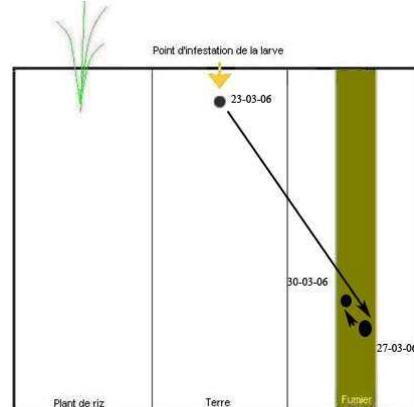
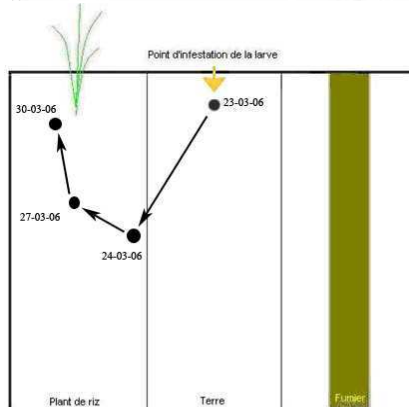
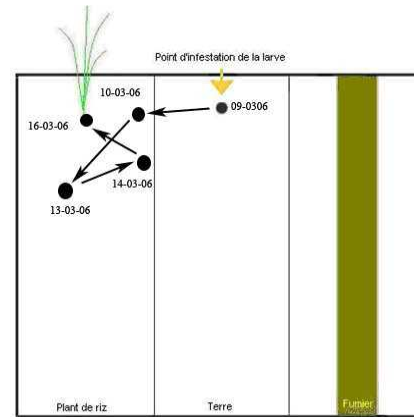
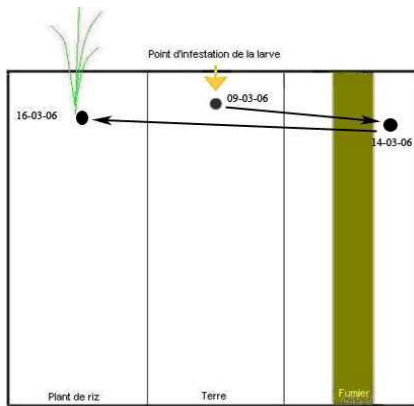
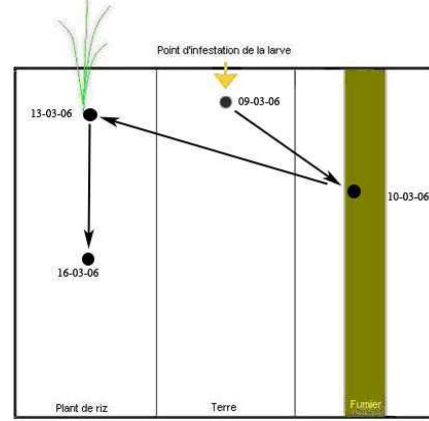
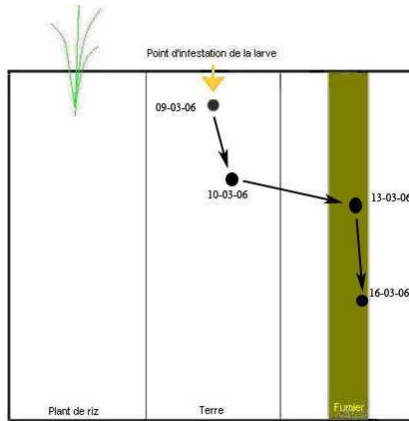
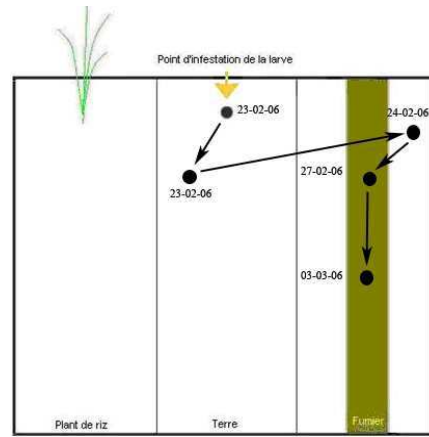
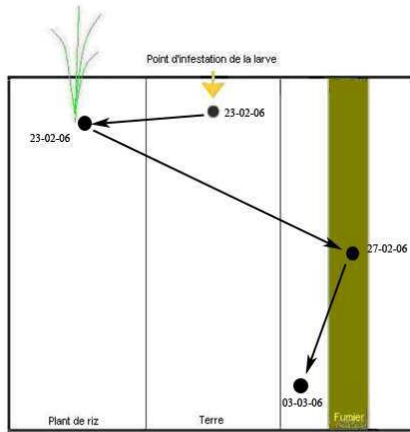
ANNEXES 3

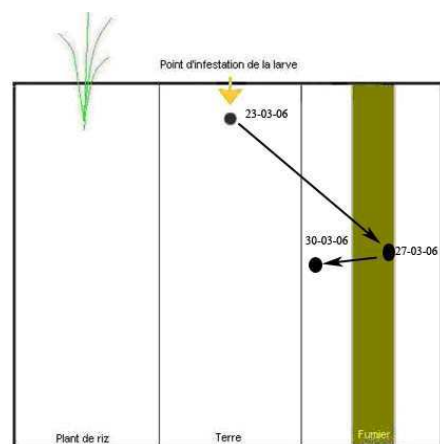
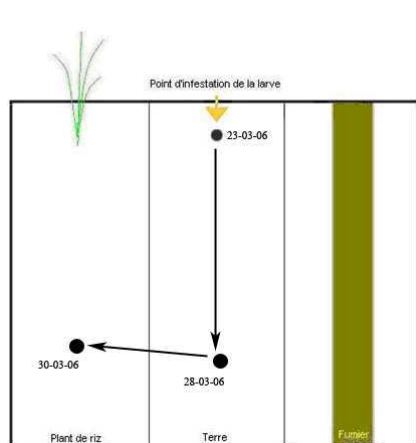
COMPORTEMENT ALIMENTAIRE DE QUELQUES VERS BLANCS AUTRES QUE *HETERONYCHUS* *ARATOR RUGIFRONS*

Représentation schématique des déplacements de la larve d'*Apicencya waterloti* et de *Bricoptis variolosa*. Les flèches indiquent le sens du déplacement de la larve à partir du point d'infestation

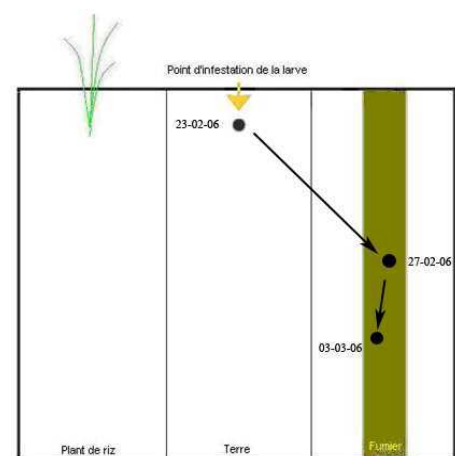
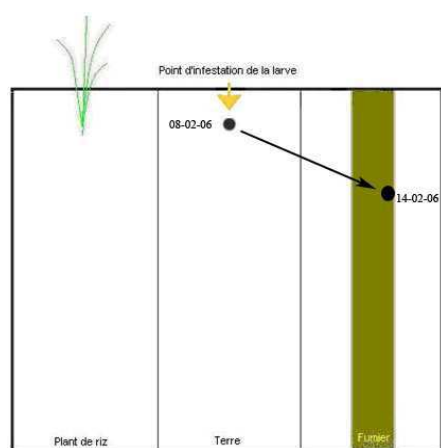
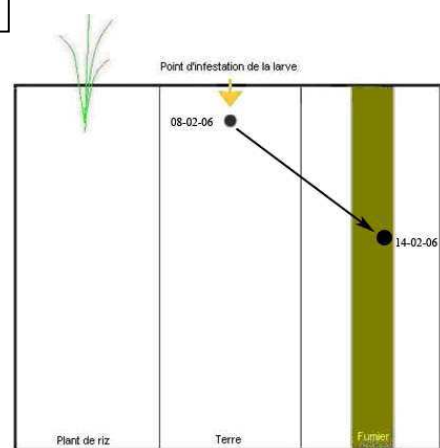
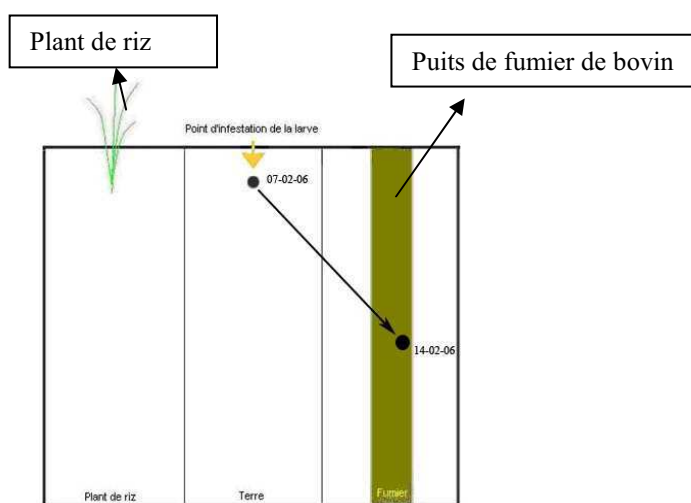
a) Cas de *Apicencya waterloti*

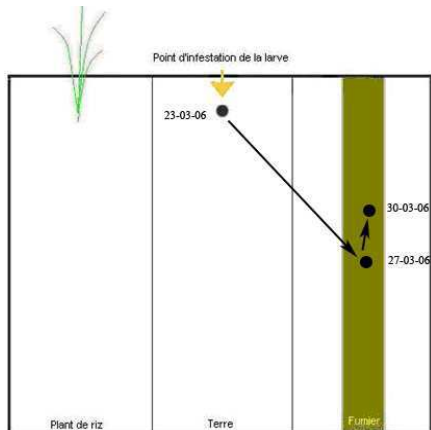
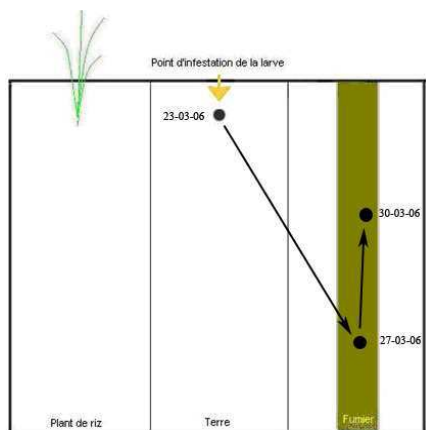
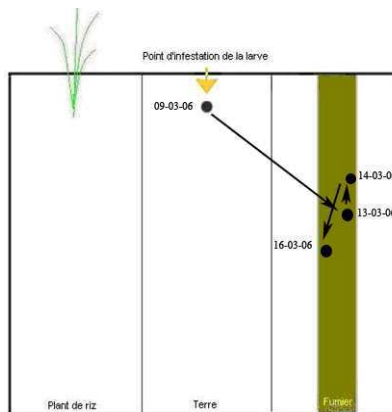
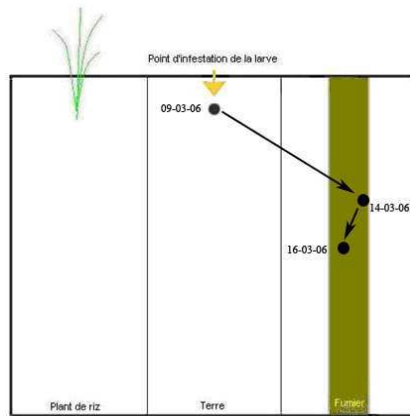
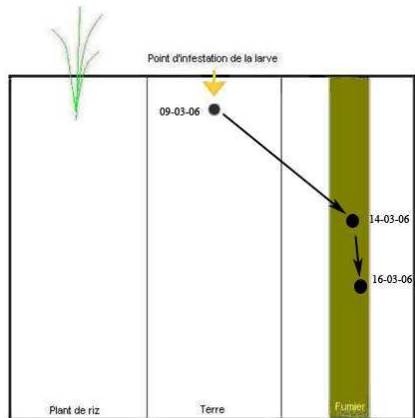
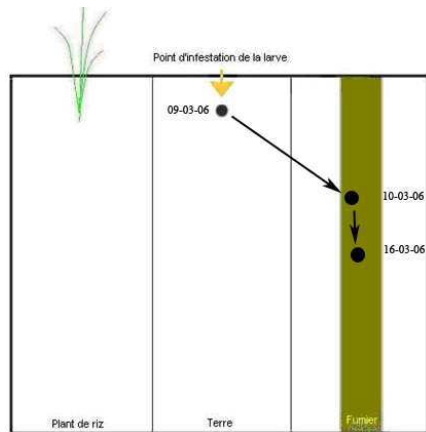
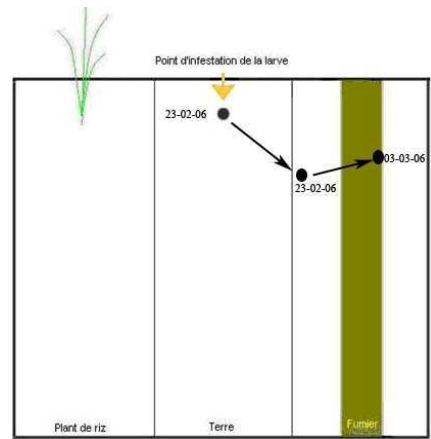
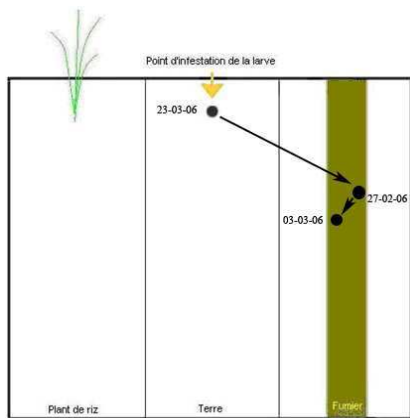


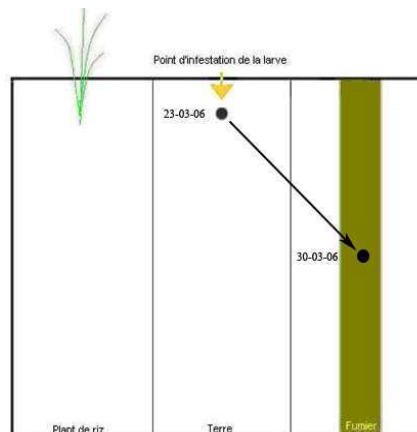
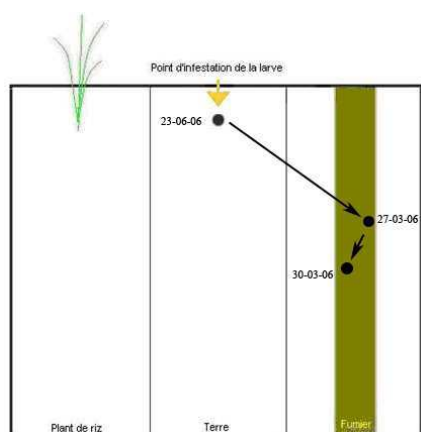




b) Cas de *Bricoptis variolosa*







Quelque soit la date d'infestation des larves dans les différents terrariums, les larves d'*Apicencya waterloti* se dirigeaient de préférence vers les plants de riz. Rarement, nous les avons observées se diriger vers le puits de fumier de bovin (matière organique) et dans situation elles ont passées d'abord sur les plants de riz avant de se diriger vers le puits de fumier de bovin. En revanche, *Bricoptis variolosa* montrait un comportement contraire car presque toutes les larves, ayant fait l'objet de l'étude, ont été retrouvées dans le puits de fumier de bovin.

ANNEXES 4

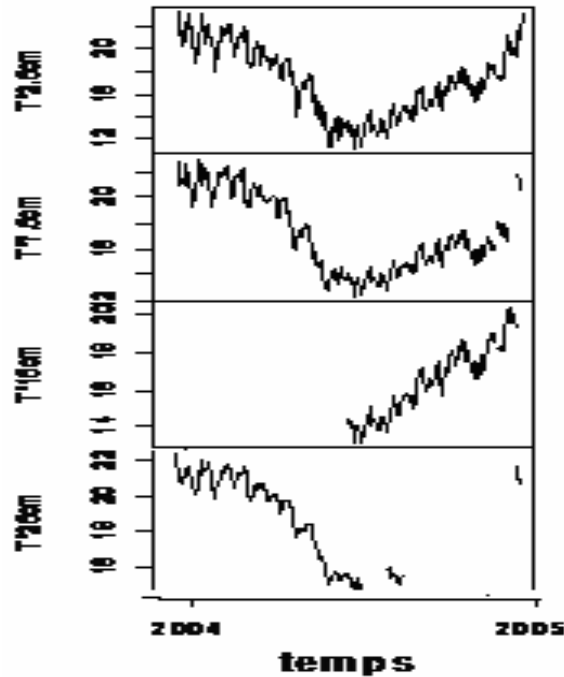
TENEUR EN AZOTE (N), CARBONE (C) ET MATIERE ORGANIQUE (MO) DES SOLS UTILISES DANS L'EXPERIMENTATION

Sol pauvre	C/N/10	10XN%	C%	MO%
Andranomanelatra	1,34	3,08	4,13	7,1
Ibity	1,67	1,47	2,46	4,23

Source : Laboratoire de pédologie FOFIFA

ANNEXES 5

TEMPERATURE DANS LE SOL OBSERVEE A DIFFERENTES PROFONDEURS (2,5 cm ; 7,5 cm ; 15 cm et 25 cm). Cas d'Andranomanelatra



Température moyenne dans le sol à différentes profondeurs (2,5cm ; 7,5 cm, 15 cm et 25 cm) de janvier à décembre 2005

Les sondes utilisées pour cette mesure sont des tiny tag (appareil permettant de mesurer et enregistrer automatiquement les températures dans le sol). Le téléchargement des données se fait directement en connectant l'appareil à l'ordinateur. Le flux de température n'a pu être enregistré de façon continue que dans le cas des sondes placées à 2,5 et 7,5 cm de profondeur dans le sol. Celles placées à 15 et 25 cm de profondeur ont présenté un problème d'enregistrement. La température varie en fonction de la profondeur. Elle est plus basse en surface qu'en profondeur et varie de 15 °C à 17,5°C durant les saisons sèches de juin à août. Durant les saisons chaudes, de janvier à avril, elle reste toujours supérieure à 18°C quelque soit la profondeur.

RESUME - Les larves de nombreuses espèces de Scarabaeoidea (« Vers blancs ») sont présentes en riziculture pluviale des régions de hautes et moyennes altitudes du Centre de Madagascar, parmi lesquelles certaines sont des ravageurs. Pouvoir les déterminer représente donc un important enjeu agronomique. La morphologie du raster permet de séparer les espèces. Vingt-six morpho-espèces larvaires ont été distinguées, parmi lesquelles 18 espèces, dont les larves et les nymphes étaient inconnues, ont été identifiées grâce aux imagos obtenus par élevage : *Bricoptis*, *Celidota*, *Anochilia*, *Euryomia* (Cetoniidae, 4 espèces), *Heteronychus*, *Hexodon*, *Heteroconus*, *Paranodon* (Dynastidae, 7 espèces dont 4 *Heteronychus*), *Paramorphochelus* (Hopliidae, 1 espèce), *Encya*, *Enaria*, *Apicencya*, *Empecta*, *Hoplochelus* (Melolonthidae, 5 espèces) et *Triodontus* (Orphnidae, 1 espèce). Les diagnoses originales des larves de troisième stade de 17 espèces et des nymphes de 13 d'entre elles, ainsi qu'une clé d'identification de 25 larves sont proposées. Chez la nymphe, le concept de structures anogénitales externes est défini. Les vers blancs sont considérés comme des ravageurs des cultures pluviales à Madagascar. Les espèces : *Heteroconus paradoxus*, *Heteronychus arator rugifrons*, *Heteronychus bituberculatus* et *Heteronychus plebeius* peuvent évoluer de la saprophagie à la rhizophagie aussi bien en sols pauvres sans addition de matière organique, qu'en sols pauvres enrichis en matière organique avec un faible ratio C/N. Elles se sont révélées être des rhizophages facultatifs. *Apicencya waterloti* est un rhizophage strict même en présence de matière organique. En revanche, *Bricoptis variolosa* et *Hexodon unicolor unicolor* sont des saprophages même en absence de matière organique. L'activité de vol d'*Heteronychus arator rugifrons* est étroitement liée à la pluviométrie et la longévité des adultes peut s'étendre jusqu'à 6 mois dans la nature. Les durées de développement de l'œuf à l'imago, à 18°C et à 25°C, sont en moyenne de 251,40 jours et 164,67 jours respectivement. Au champ, la présence des œufs est observée à partir de février jusqu'en juin. Au laboratoire la période de pré-oviposition est d'environ 4 à 6 mois. *Heteronychus arator rugifrons* fréquente plus les milieux secs avec une végétation basse que les milieux humides. Les adultes et œufs d'*H. arator rugifrons* sont fréquemment observés entre 0 et 10 cm de profondeur mais les adultes sont plus abondants entre 0 et 5 cm de profondeur juste en-dessous de la surface du sol et près du système racinaire des plants de riz servant de source de nourriture et de lieu de ponte. Dans les conditions des Hautes Terres Malgaches, les larves de 1^{er} stade (L1) d'*H. arator rugifrons* s'observent en général de janvier à mars, les larves de 2^{ième} stade (L2) en avril et les larves de 3^{ième} stade (L3) généralement à partir de juin et les nymphes à partir d'août. Les L1 fréquentent des faibles profondeurs (< 10 cm) tandis que les larves âgées (L2-L3) se trouvent beaucoup plus en profondeur (10 -25 cm).

MOTS-CLES

Cetoniidae, Melolonthidae, Dynastidae, Hopliidae, Orphnidae, larve, nymphe, diagnose, raster, *Heteronychus arator rugifrons*.

ABSTRACT - Larvae (white grubs) of many scarab beetle species can be found in rainfed rice fields in medium and high altitude areas of Central Madagascar, with only some species being pests. For pest management, it is therefore critical to be able to accurately identify them. Raster morphology makes it possible to differentiate species. Twenty-six larvae morpho-species were thus distinguished, of which 18 species, whose larvae and pupae were unknown, were identified after development to adult: *Bricoptis*, *Celidota*, *Anochilia*, *Euryomia* (Cetoniidae, 4 species), *Heteronychus*, *Hexodon*, *Heteroconus*, *Paranodon* (Dynastidae, 7 species with 4 species of *Heteronychus*), *Paramorphochelus* (Hopliidae, 1 species), *Encya*, *Enaria*, *Apicencya*, *Empecta*, *Hoplochelus* (Melolonthidae, 5 species) and *Triodontus* (Orphnidae, 1 species). Original descriptions of 3rd instar larvae of 17 species, and of pupae of 13 of them are given, along with an identification key of 25 larvae morpho-species. Pupae external genitoanal structures concept is defined. In Madagascar, white grubs are considered as pests in upland crops. *Heteroconus paradoxus*, *Heteronychus arator rugifrons*, *Heteronychus bituberculatus* and *Heteronychus plebeius* can move from saprophagy to rhizophagy in poor soil without organic matter or in poor soil added with organic matter with low C/N ratio. They are facultative rhizophagous. *Apicencya waterloti* is an obligatory rhizophagous species even in the presence of organic matter. Conversely, *Bricoptis variolosa* and *Hexodon unicolor unicolor* are saprophagous even without organic matter. The flight of adults of *Heteronychus arator rugifrons* depends on rainfall and the longevity of the adults can reach 6 months in the wild. At 18°C and 25°C, life cycle of *H. arator rugifrons* from egg to imago are 251,40 days and 164,67 days respectively. In the field, eggs are observed from February to June. In laboratory, the pre oviposition period took 4 to 6 months. *Heteronychus arator rugifrons* frequents more dry conditions than wet conditions. Adults and eggs of *H. arator rugifrons* are frequently observed between 0 to 10 cm depth but adults are more abundant in 0 to 5 cm depth just below soil surface near the root system of rice plants which provides adults with food resource and egg-laying substrate. Under the conditions of the Highlands of Madagascar, first instar larvae (L1) of *H. arator rugifrons* are normally observed from January to March, second instar larvae (L2) in April and third instar larvae (L3) generally from June and pupae from August. First instar (L1) larvae are frequently observed at low depth (< 10 cm) while second and third instar larvae are to be found deeper (10-25 cm).

KEY WORDS

Cetoniidae, Melolonthidae, Dynastidae, Hopliidae, Orphnidae, larva, pupae, diagnosis, raster; *Heteronychus arator rugifrons*.